VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Э. Х. ЛЕНЦ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ





АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

КЛАССИКИ НАУКИ

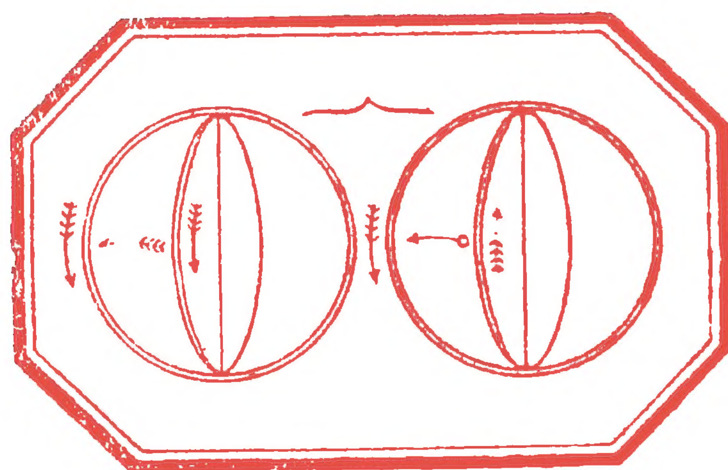


Э. Х. ЛЕНЦ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

РЕДАКЦИЯ И ПРИМЕЧАНИЯ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АН СССР
Т. П. КРАВЦА

СТАТЬИ
ПРОФЕССОРА К. К. БАУМГАРТА
АКАДЕМИКА Л. С. БЕРГА
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АН СССР
Т. П. КРАВЦА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
1950

Под общей редакцией Комиссии Академии Наук СССР
по изданию научно-популярной литературы
и серии «Итоги и проблемы современной науки»
Председатель Комиссии президент Академии Наук СССР
академик *С. И. ВАВИЛОВ*
Зам. председателя член-корреспондент Академии Наук СССР
П. Ф. ЮДИН


ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ
Э. Х. ЛЕНЦ

ФИЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ, ПРОИЗВЕДЕННЫЕ ВО ВРЕМЯ КРУГОСВЕТНОГО ПУТЕШЕСТВИЯ ПОД КОМАНДОВАНИЕМ КАПИТАНА ОТТО ФОН-КОЦЕБУ В 1823, 1824, 1825 И 1826 ГОДАХ



Доложено 4 ноября 1829 г. [1]

ПРЕДИСЛОВИЕ

Достославное Российское императорское Адмиралтейство, решив в 1823 г. организовать вышеуказанное путешествие, обратилось через своего знаменитого сочлена, его превосходительство г-на вице-адмирала фон-Крузенштерна к профессорам Парроту, Энгельгардту и Струве, чтобы получить для этого путешествия по одному из их питомцев для [работ в области] физики, геогнозии и астрономии.

Выбор первого пал на меня. Мне надлежало выполнить многочисленные физические задачи, выбор которых Адмиралтейством был предоставлен ему же. Эти задачи содержатся в данной им мне следующей инструкции.

ИНСТРУКЦИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ФИЗИЧЕСКИХ ОПЫТОВ И НАБЛЮДЕНИЙ ВО ВРЕМЯ НАУЧНОЙ ЭКСПЕДИЦИИ, ВОЗГЛАВЛЯЕМОЙ Г-НОМ КАПИТАНОМ ФОН-КОЦЕБУ

Намеченные многочисленные опыты и наблюдения естественно разделяются на две группы, а именно, на опыты на море и опыты на суше.

I. Опыты на море

С батометром (глубомером). Этот прибор состоит из следующих частей: а) опускающегося резервуара, наполняющегося при остановке на любой глубине 60 фунтами воды и снабженного внутри термометром, шарик которого достаточно крепок, чтобы противостоять давлению воды; б) троса, могущего доставать до глубины 3000 туазов под поверхностью моря и уже

рассчитанного на укорочение при смачивании и удлинении благодаря подвешенному грузу; в) станка, посредством которого трос с прибором может быть опущен и поднят; г) особого грузила, весом в 20 фунтов; д) римских весов [безмена]. Применение этого прибора требует безветренной погоды; поэтому предполагается, что наблюдатель воспользуется каждой возможностью работы с прибором и будет ее изыскивать сколь можно чаще.

С помощью описанного прибора могут производиться следующие опыты.

Над температурой моря на различных глубинах. Глубины исследуются через каждые 200 туазов, так что до глубины 3000 туазов берется 15 станций. Прежде всего, следует опустить грузило и при помощи римских весов через каждые 200 туазов проверять — не достало ли оно до дна. Если дна не оказывается, то производятся опыты с самим опускающимся прибором, который после взятия каждой станции (на 200 туазов) поднимается наверх; показания термометра наблюдаются сразу после открытия клапана. Для сравнительных опытов к тросу привязывается термометр Сикста; по нему также производятся наблюдения при каждом подъеме.

Над свойствами морской воды на различных глубинах. Водой, доставляемой прибором с каждой станции, наполняются каждый раз 4 бутылки; из них 2 служат тут же на месте для точного определения удельного веса посредством имеющегося для этого большого ареометра, а 2 другие тщательно закупориваются и привозятся в Европу, в Дерпт, для определения содержания солей.

Над упругостью и плотностью воды на различных глубинах. Для этой цели, при каждом опускании прибора и на каждую глубину, непосредственно над самым прибором привязывается элатерометр для воды, по которому при каждом подъеме прибора наблюдения производятся сразу же после наблюдения термометра. Громадным давлением, создаваемым водяными столбами большой высоты, мы воспользуемся как возможностью при каждом опыте получать данные 15 наблюдений над упругостью воды, на основании которых можно найти путем расчета закон сжатия при каждом данном давлении, а одновременно — плотность морской воды на каждой измеренной глубине. При первых 15 измерениях элатерометр следует наполнить дистиллированной водой, а потом, если штиль продолжится настолько, что получится возможность повторить эти 15 опытов на том же самом месте, или при новом штиле, элатерометр наполняют морской водой, чтобы выяснить, не влияет ли содержание солей на сжимаемость.

Над упругостью ртути. Указанным выше большим давлением воды следует воспользоваться также для того, чтобы на специальном элатерометре для ртути определять упругость этой жидкости. Опыты производятся тем же методом, что и для воды

Над влиянием имеющих место при этих опытах давлений на твердые, но мягкие (слабо упругие) тела. На это давление испытываются: свинец, олово, фосфор, воск и сало. Гидростатическое взвешивание до и после погружения покажет, испытали ли эти тела во время опыта уплотнение, и, если таковое будет иметь место, даст его величину. Для этого перечисленные вещества вкладываются в специальный прибор и подвешиваются к тросу, но только при 15-м погружении (т. е. для наибольшей глубины), чтобы не увеличивать сверх меры числа опытов, которые отделяют друг от друга последовательные станции, и не расходовать таким образом времени, нужного для проведения глубинных опытов.

*Опыты над влиянием больших давлений на проявление сродства.** С этой целью, так же как и в предыдущих случаях, только при 15-м погружении к тросу привязываются и вместе с ним опускаются несколько химических приборов. Предметом этих опытов являются:

а) кислород и водород — с целью определить, способно ли сжатие около 600 атмосфер образовать воду?

б) кислород и азот — образуется ли азотная кислота?

в) водород и азот — образуется ли аммиак?

г) кислород и ртуть — дает ли сжатие окисление ртути?

д) атмосферный воздух и амальгама — значительно ли окислится амальгама?

е) кислород и сера — будет ли сера воспламеняться или окисляться?

ж) кислород и дистиллированная вода — будет ли получаться окислороженная вода?

з) водород и вода — образуется ли гидрогенизированная вода?

и) масло и кислород — будет ли изменяться масло при этих условиях?

к) углекислая известь и вода — повышает ли большое давление растворимость извести?

л) почти насыщенный раствор поваренной соли — вызовет ли большое давление кристаллизацию соли, несмотря на избыток воды?

Настоятельно рекомендуется все ряды опытов, связанных с батометром, повторять настолько часто, как это позволят обстоятельства; они должны быть полностью проделаны по крайней мере 2 раза; в тех же случаях, когда глубина моря не будет достигать необходимой величины или штиль не будет иметь нужной продолжительности, должно вести опыты над тем-

---

* В то время прекрасные опыты по сжатиям в Англии еще не были произведены, и г-н статский советник Паррот, построивший прибор для небольших давлений порядка 40 атмосфер, не мог при имевшейся тогда обстановке создать давление в 500—600 атмосфер; вот почему он для этой цели желал воспользоваться давлением в океане.

пературой воды на глубине, а также над упругостью воды и ртути до пределов возможного.

Над морской водой на ее поверхности. Ее температура должна измеряться по 2 раза в неделю и в оба эти дня по 4 раза в течение суток, через различные промежутки времени. Сроки наблюдений определяются восходом солнца в данной местности, причем первый срок следует брать всегда за полчаса до восхода солнца, второй — в час пополудни, а 2 остальных — между ними, через равные промежутки времени. Эти температуры сравниваются с определяемыми одновременно температурами воздуха над водой — для разрешения вопроса, которая средняя температура выше — моря или воздуха.

Удельный вес морской воды на поверхности следует измерять в Атлантическом океане и в Южном море по меридиану через каждые 2° широты, а также приблизительно по параллели через каждые 5° долготы. Эти наблюдения могут соединяться с предыдущими для сопоставления с температурой.

Принятые вообще в морских экспедициях *ежедневные 3- и 4-кратные наблюдения по барометру* собственно не представляют для науки чего-либо ценного, ибо, хотя эти наблюдения и производятся ежедневно и в определенные часы, они все же ни с чем не связаны, так как корабль все время перемещается. Поэтому физику предоставляется право по собственному усмотрению решать — производить ли ему эти наблюдения или нет. Я не даю по этому вопросу указаний, чтобы наблюдатель мог сохранить время на что-либо более интересное. Однако, когда корабль будет находиться вблизи экватора, физик не преминет наблюдать суточные колебания барометра и притом в течение одних суток через каждый час дня и ночи. Следует тщательно вести наблюдения барометра в случае особого состояния атмосферы

Наблюдения за влажностью воздуха посредством гигрометра Делюка (из китового уса) следует производить одновременно с наблюдениями барометра.

Об имеющих место на море грозах и всем, что при этом наблюдается, физику надлежит вести тщательные записи в журнале, чтобы можно было потом судить, так же ли часты грозы на море, как на суше. Равным образом сведения о частоте грозовых явлений необходимо собирать у жителей отдельных маленьких островов, так как вряд ли можно думать, что подобные островки в этом отношении прерывают морскую поверхность. При появлении смерчей надлежит точно определять их географическое положение; следует также точно наблюдать направление в котором они совершают свое улиткообразное вращение.

Так как новейшие исследования выдвинули предположение, что морская атмосфера содержит меньше углекислоты, нежели атмосфера над сушей.

а также содержит небольшое количество солянокислого натрия, то это необходимо исследовать, причем содержание кислорода и углекислоты следует измерять помощью антракометра и фосфорного эвдиометра, а содержание солянокислого натрия — посредством азотнокислого серебра. Особенно рекомендуется эти опыты производить в тех местах экватора, где при безветрии море ярко светится и издает зловоние, с целью узнать, не имеется ли здесь больше углекислоты и меньше кислорода.

II. Опыты на суше

Опыты с маятником производятся с постоянным маятником, путем наблюдения совпадений с часовым маятником. Совпадение результатов опытов, произведенных с двумя такими маятниками, будет обеспечивать постоянство прибора, а различие результатов — указывать на легко устранимую ошибку.

Опыты с маятником должны производиться:

1) для определения формы земли, причем преимущественно в двух направлениях — меридиана и параллели. Для первого направления избирается большой архипелаг, ограничивающий с востока Азию; за его начало можно принять Маккуори (55° ю. ш.); далее он охватывает Новую Голландию, Соломоновы, Портландские, Каролинские, Марианские, Магеллановы и Курильские острова, а также полуостров Камчатку. Если корабль войдет в Берингов пролив, эти опыты следует, где возможно, повторить там, на берегу моря. В экваториальном направлении линия наблюдений будет проходить через весь Архипелаг Южного моря и может быть продолжена несколькими точками с обеих сторон Африки и Америки, так что вместе с наблюдениями в Ост-Индии охватит почти всю параллель. Число точек в каждом из двух направлений должно быть от 15 до 20, так чтобы эта экспедиция могла привезти для определения формы земли результаты по крайней мере 30 маятниковых наблюдений;

2) для нахождения вулканических пустот. Для этой цели необходимо исследовать вулканы Камчатки, Алеутских и Сандвичевых островов, а также Пик Тенерифа и вулканы, расположенные в Новой Голландии. Опыты с маятником должны охватывать выбранный вулкан кругом, и пункты наблюдений должны располагаться по окружности на расстоянии примерно 4000 туазов от кратера. Если какой-либо пункт окажется расположенным над очагом вулкана, то ход маятника окажется несколько медленнее, нежели в какой-либо другой точке круга. При наличии такого пункта, необходимо определить его географическое и топографическое положения с такой точностью, чтобы последующие путешественники смогли его отыскать для повторения опытов. Если же в пределах радиуса в 4000 туазов такой точки не найдется, то расстояние следует увеличить и опыт повторить. Расстояние

между пунктами наблюдения при одном и том же радиусе должно быть от 3000 до 4000 туазов. Может, однако, случиться, что очаг вулкана окажется не со стороны суши, а со стороны моря, под водой; тогда попытки отыскать его оказались бы тщетными. Впрочем, наблюдатели должны повторять эти опыты с маятником неустанно, так как поставленная задача имеет такую большую важность для физики земли, что опыты с маятником для определения формы земли едва ли могут быть поставлены с ними рядом.

Измерение высот с помощью барометра. Эти измерения следует производить на Мауна Лоа и других вершинах Сандвичевых островов, так как приводимые данные о высоте этих гор могут быть неточными. При наличии полосы вечного снега, ее границы тоже должны быть определены с помощью барометра. Такое определение является обязанностью физика, куда бы он ни приехал и где только к этому представится случай. Это, видимо, будет иметь место на Голубых горах Новой Голландии. Наши путешественники должны будут узнать в Порт-Диксоне, было ли что-либо проделано в данном отношении на этом крупном острове. Измерение высот и определение границ вечного снега должны преимущественно производиться на вулканических горах Камчатки, а также на горах Алеутских островов.

Следует просить естествоиспытателей, чтобы те при своих экскурсиях на берег брали с собой термометр для точного измерения температуры источников, причем измерения эти надлежит производить непосредственно в местах выхода источника из-под земли. Поскольку эти измерения будут произведены в столь различных климатах, данные их смогут пролить свет на вопрос о правильности и применимости гипотезы Своненберга. Там, где естествоиспытатели будут задерживаться на более продолжительный срок, указанные наблюдения следует производить ежедневно и, по возможности, в различное время дня, для того чтобы убедиться в неизменяемости температуры источника хотя бы в течение всего того дня, когда производились измерения.

Экспедиция должна будет пройти через Берингов пролив, частью для определения местности, частью же для производства, наконец, точного анализа *полярного льда.* Эти массы льда, частью нагромоздившиеся на берегах и среди моря, частью свободно плавающие по морю, должны быть рассмотрены как горные породы и изучены с точки зрения геогнозии. Необходимо произвести все исследования, которые обычно проводятся при изучении горных пород, как то: сложение, структуру, залегание пластов и т. п. Необходимо исследовать на месте на содержание морской соли куски льда, взятые из различных мест, не находящихся в морской воде. Азотнокислое серебро покажет присутствие даже незначительного количества ее. Результаты этих анализов

решат вопрос о происхождении полярного льда. Различные образцы этого льда должны быть расплавлены и в 20 бутылках привезены в Европу.

На этом же крайнем Севере следует внимательно, со всех точек зрения, изучить *северное сияние.* Особенно рекомендуется наблюдения за северным сиянием вести совместно физику и астроному, чтобы, одновременно наблюдая венец из двух удаленных друг от друга мест, определить его высоту. Некоторые признаки (например треск) говорят за то, что часть явлений имеет место на умеренной высоте, может быть в области облаков, другая — на высоте нескольких миль.

На корабле и на суше должен вестись точный журнал всех опытов и наблюдений, а именно: сперва, непосредственно в момент наблюдений, просто карандашом составляется „черновик", данные из которого по окончании наблюдения сразу же переносятся в „чистовик". Из этого журнала, который будет содержать все научные наблюдения в области физики, надлежит делать две копии, доводимые до конца журнала. Эти копии следует из двух ближайших мест направлять в Европу.

Однако важнее всего вышесказанного будет бережное обращение с инструментом, точность наблюдений, аккуратность записей и, во всех случаях, правдивость.

Подписано: Паррот.

Г-н статский советник Паррот не поручал мне никаких магнитных опытов, частью потому, что он не хотел чрезмерно увеличивать число наблюдений, а частью потому, что необходимые приборы невозможно было в столь короткий срок ни изготовить в Дерпте, ни выписать из-за границы, и, наконец, потому, что мой уважаемый учитель держался и продолжает держаться того мнения, что никакая математическая гипотеза не в состоянии даже в основных чертах хотя бы приближенно выразить закон земного магнетизма, поскольку, как он считает, такового закона вовсе не существует, и что для мореходства ничего лучшего нельзя сделать, как примерно через каждые 10 лет на всех основных морских путях производить тщательное изучение склонения магнитной стрелки, исключая при этом влияние железа корабля, и наносить результаты на магнитные карты. Проведение одною или несколькими великими морскими державами такого непрерывного изучения было бы, по мнению г-на Паррота, гораздо полезнее для мореходства, нежели все гипотезы о так называемом законе земного магнетизма.

Между тем, императорское Адмиралтейство пожелало, чтобы я, по мере возможности, все же проводил исследования по наклонению магнитной стрелки; для этой цели я пользовался полученным мною в Англии инклинатором.

Для выполнения остальных заданий нужно было изготовить новые, по большей части еще не имевшиеся в наличии приборы. Поэтому Адмиралтейство просило г-на статского советника Паррота, чтобы все нижеперечисленное было подготовлено под его непосредственным присмотром:

1) батометр с 2 погружающимися приборами, 2 тросами, каждый длиной до 3000 туазов, и приспособлением для опускания и подъема прибора. Каждый прибор должен быть снабжен термометром; кроме того, должен быть приложен и третий термометр, тоже с толстостенным шариком, в качестве запасного;

2) ареометр для уверенного определения удельного веса жидкости с точностью до $\frac{1}{52000}$; он служит для определения постоянных точек;

3) элатерометр для воды;

4) элатерометр для ртути;

5) электрометр для атмосферного электричества, вместе с небольшой мачтой для установки на высоте металлического острия;

6) 8 комплектов химического прибора для соединения газов друг с другом и с другими телами под большим водяным давлением;

7) прибор, в котором твердые тела подвергаются действию таких давлений, а также некоторое количество олова, свинца, фосфора, воска и сала (тука);

8) антракометр с известковой водой;

9) фосфорный эвдиометр;

10) маятниковый аппарат с 2 постоянными маятниками, астрономическими часами и отдельными подставками для маятников и часов;

11) 4 путевых барометра;

12) 8 термометров, из которых некоторые размещены по отдельным приборам, а остальные предназначены для всяких непредвиденных надобностей. При этом, однако, следует придерживаться правила, что хотя при помощи переводной таблицы показания всех термометров могут быть сведены к одному, все же для ряда однородных опытов надлежит пользоваться одним и тем же термометром, за исключением, конечно, случаев, когда вследствие неосторожности последний приходит в негодность;

13) газы, реактивы и т. п., необходимые для проведения вышеизложенных опытов.

К перечисленным приборам в Англии должны были быть добавлены:

14) гигрометр Делюка (из китового уса);

15) термометр Сикста;

16) камера-клара Волластона;

17) многочисленные астрономические инструменты для определения времени по предложению г-на проф. Струве;

18) ареометр Аткинса;

19) инклинатор Доллонда;

20) римские весы находились уже на корабле. Эти последние должны были при глубинных исследованиях служить для определения, достигло ли опущенное первым свинцовое грузило дна или нет. Для этой цели, при опускании троса на предусмотренную глубину, весы прикрепляются к тросу и определяется усилие, потребное для его подъема. Разница в 40 фунтов будет заметна и укажет, висит ли грузило на тросе или легло на дно.

Короткий срок, данный г-ну статскому советнику Парроту для изготовления всех этих приборов — с 10 мая по 10 июня, — и помешательство единственного бывшего в его распоряжении механика (которого он принужден был насильно удалить из мастерской и поэтому должен был работать только с подмастерьями, руководя их работой до мельчайших подробностей)

сильно затрудняли ему эту работу; последнюю я, конечно, ревностно с ним разделял, но срок от этого не переставал быть кратким.

Здесь уместно мне будет выразить моему уважаемому учителю мою искреннюю благодарность за те безмерные труды, которые он приложил для подготовки нашей экспедиции. Ученый мир знает его труды; они показывают, насколько ревностно он трудился для науки, но только один Дерптский университет знает, какое огромное количество других дел требовало его времени. Однако и в этом случае он не удалился от науки, а применил свои широчайшие знания и богатейший опыт (физический кабинет в Дерпте свидетельствует об этом) для того, чтобы предназначавшиеся для меня инструменты были изготовлены настолько хорошо, как этого едва ли можно было ожидать в столь короткий срок.

О чем мы особенно сожалели, так это о невозможности исподволь опробовать все приборы. В частности, это касалось изобретенного проф. Парротом и изготовленного в 2 экземплярах, при деятельном соучастии знаменитого астронома проф. Струве, постоянного маятника, который пришлось отправить, не произведя испытания и определения его хода в Дерптской обсерватории. Мы надеялись иметь возможность произвести эти испытания при первой остановке в Англии, однако, по причинам, которые будут указаны далее, этого нам сделать так и не удалось.

Батометр, который, после маятника, являлся важнейшим прибором экспедиции, хотя и был закончен и проверен настолько, что в его полной пригодности не имелось никаких сомнений, не мог, однако, подвергнуться испытанию на изменение температуры при изменении температуры среды, в которой он движется. Однако на обратном пути такая проверка была произведена и притом очень обстоятельно, так что показания прибора в отношении температуры морских глубин были совершенно правильными.

Получив, таким образом, хотя и наспех, задания и инструменты, начали мы свое путешествие с радужными надеждами,

убежденные в том, что торговые поручения, которые имел наш корабль, являлись второстепенными, а главными были научные. Однако вскоре после нашего отплытия мы от г-на Коцебу узнали обратное, а на Камчатке получили об этом и письменное уведомление. Пораженные этим обстоятельством, но все же благодарные за то немногое, что оставляло нам подобное изменение нашего назначения, мы не пали духом и решили напрячь все силы, чтобы каждый посылаемый нам судьбой благоприятный момент посвятить науке. И если все же результаты нашего путешествия не вполне оправдали надежды и чаяния нашего любимого учителя, желания покровителей науки и ожидания ученого мира, мне, со своей стороны, хочется настоящим трудом доказать, что это зависело не от недостатка усердия с моей стороны, и я надеюсь, что наука извлечет из этой работы хоть некоторую пользу.

Уже в Англии, когда мы в Портсмуте установили наш маятниковый прибор для первых опытов, мы с горечью почувствовали последствия предписанной нам спешности. А именно, капитан Коцебу и астроном экспедиции, г-н Прейс, поехали в Лондон, чтобы приобрести там недостающие инструменты, в особенности — инструменты для определения времени, но в тот же день, как эти приборы были получены, мы принуждены были сняться с якоря и вновь запаковать наш маятниковый прибор, не использовав его. Этим у нас отнята была возможность доказать постоянство прибора за время нашего путешествия путем проверки числа колебаний маятника до и после путешествия в одном и том же месте. Все же мы надеемся, что можно положиться на солидность его конструкции.

К несчастью, г-н Коцебу не нашел в Лондоне ни одного готового, пригодного к употреблению термометра Сикста, показания которого мы должны были сравнивать с показаниями термометров, помещенных в батометрах, так что от этих сравнений также пришлось отказаться. Равным образом, купленный в Лондоне гигрометр из китового уса оказался на-

столько малочувствительным, что за все время экспедиции ни разу не показал разницы большей, чем на 8 делений, хотя мы под тропиками и на севере должны были пройти места с наивысшей степенью сухости и влажности. Поэтому я затрудняюсь привести в настоящей работе результаты моих наблюдений с этим прибором.

На опыты с батометром также повлияла та вынужденная спешка, которая имела место во время пути как туда, так и обратно. Известно, что опыты с батометром на наибольших морских глубинах требуют полного безветрия, и, преследуя научные цели, наш корабль должен был бы именно искать такие места, где безветрия наиболее часты и продолжительны. Однако мы вынуждены были либо совсем их избегать, либо проходить их как можно быстрее, так как штилевая погода, мало того, что задерживала бы ход корабля, но будто бы еще вредно отразилась бы на здоровье команды.

Я должен еще объяснить здесь, почему я не привожу результатов опытов с маятником, для которых г-н Прейс любезно производил определение времени. Сразу же после возвращения я передал императорскому Адмиралтейству упакованные на корабле приборы и поспешил к своей семье в родной город Дерпт, где весь остаток года употребил для совершенствования в области химии под руководством проф. Озанна. В январе 1826 г. я приехал в С.-Петербург и исходатайствовал разрешение на пользование приборами, отчасти для того, чтобы проверить их ход, а отчасти для того, чтобы с некоторыми из них поставить приведенные далее опыты. Формальности затянули получение их, и лишь в сентябре я смог послать в Дерпт маятниковый прибор для проверки там хода часов и определения удлинения обоих маятников при различных температурах. Проф. Струве хотел сам внести эти поправки; однако сперва ему помешали начать эту работу его градусные измерения, которые он как раз тогда заканчивал, затем перелом ноги в результате падения и, наконец, накопившиеся вследствие этого многочисленные другие дела.

В письме к г-ну статскому советнику Парроту он обещает, однако, закончить ее следующим летом, поскольку ближайшая зима позволит ему использовать нужную ему минимальную температуру. Последующие многочисленные и трудоемкие расчеты займут по меньшей мере год, так как вследствие полученного мною назначения я буду занят разными другими работами по Академии Наук, которые помешают мне целиком посвятить себя вышеуказанной работе. Таким образом, нечего и ожидать, чтобы обработка результатов опытов с маятником закончилась раньше, чем через 2—3 года.

В заключение, считаю своим приятным долгом выразить благодарность своему бывшему начальнику, капитану фон-Коцебу, которому я очень многим обязан как за внимательное обращение, облегчившее мне, новичку, строгость законов на морском судне, так, в особенности, за помощь, которую он всегда, как только этому позволяли другие цели экспедиции, охотно оказывал мне в моих опытах. Да и вообще приятно проделать путешествие, подобно нашему, под командой человека, имя которого так широко известно во всей Европе.

О ВОДЕ ОКЕАНА НА РАЗЛИЧНЫХ ГЛУБИНАХ В ОТНОШЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОДЕРЖАНИЯ СОЛЕЙ

До сих пор мореходы и естествоиспытатели имели в своем распоряжении для определения температуры моря на различных глубинах 3 прибора. Пользовавшийся каким-нибудь прибором именно ему отдавал предпочтение по сравнению с остальными. Мы разберем, насколько каждый был прав, и этим оправдаем свой собственный выбор.

1) Сперва рассмотрим прибор, применявшийся Пероном. Он состоит из обычного термометра, окруженного несколькими чередующимися слоями плохих проводников тепла. Так как пригодность этого прибора основана на плохой проводимости различных материалов, то понятно, что необходимо держать его очень долго в нижних, самых холодных слоях, температуру которых он собственно и должен указать. Такое условие мореплаватель редко в состоянии выполнить, так как необходимое для этого безветрие на море бывает не столь часто, как это, может быть, предполагают. Во-вторых, результат измерений будет еще очень сомнительным вследствие нагревания, имеющего место во время поднятия прибора на поверхность. Пока не будет каким-либо образом определена относящаяся сюда поправка, результат таких измерений будет внушать мало доверия. В опытах Перона спуск на глубину 2144 футов и непосредственное нахождение прибора на этой глубине занимали 75 минут, подъем — 45 минут. Если принять, что спуск и подъем происходили с одной и той же скоростью

(что весьма вероятно, поскольку они производились не посредством блока, а самим наблюдателем вручную), простой, но только приближенный расчет делает вероятным, что прибор находился в слое самой низкой температуры в течение $52^1/_2$ минут. Это дает поправку, которая снижает полученную непосредственным измерением температуру с 6° R до —8°.1, по расчету, подобному тому, который можно найти у Паррота (Physik d. Erde, стр. 367). Эта температура, однако, по сравнению с результатами других опытов, чересчур низка. Поэтому поправка, определенная, как указано здесь, по данным Перона, не может быть признана верной, и до тех пор, пока она не будет определена непосредственными опытами, этот прибор останется в высшей степени ненадежным.

2) Для избежания ошибок в поправке на время подъема изобретен термометрограф Сикста, прибор, который, на первый взгляд, в высшей степени соответствует своему назначению. Он состоит из изогнутой термометрической трубки, расположенной своим шариком и противоположным концом — вверх, изогнутой частью — вниз. Термометрическим веществом является винный спирт. Нижнюю часть обеих ветвей трубки занимает ртуть, и в одной ветви над ртутью расположена Торричеллиева пустота. На обеих поверхностях ртути лежит по маленькому железному поплавку, к которому снизу прикреплены выгнутые кнаружи два волоска, не дающие ему спадать при опускании под ним ртути. Таким образом, положением поплавков в пустоте и винном спирте прибор показывает экстремальные значения, т. е. наивысшую и наинизшую температуры. Теоретически этот прибор должен был бы давать самые точные показания, но практически их трудно получить. Совершенно ясно, что, при неизбежной большой гибкости волосков, случайный небольшой толчок или внезапное увеличение скорости подъема, а также бо́льшая гладкость стекла в какой-либо части трубки могут очень легко привести к сдвигу держащегося на волоске поплавка. Второе обстоятельство, т. е. ускорение подъема, может произойти тем легче, что, насколько нам

известно, до наших опытов подъем никогда не производился равномерной намоткой троса на барабан, а осуществлялся матросами вручную и притом рывками. Далее нам представляется заслуживающим внимания еще одно обстоятельство, вследствие которого термограф для измерения температуры воды на различных глубинах, собственно, не пригоден, — а это его главная цель. Дело в том, что прибор этот показывает лишь крайние значения температур. Если бы было установлено, что температура океана с увеличением глубины всегда падала равномерно, то с этой точки зрения против прибора не было бы возражений. Однако кто может поручиться, что это будет так? * Наблюдения, производившиеся с другими приборами, были до наших дней лишь единичными и простирались только до незначительных глубин. По ним, следовательно, нельзя составить какого-либо суждения. Если же в действительности в океане на какой-либо глубине вода снова становится теплее, то термометр Сикста этого повышения температуры никак не отметит, так как поплавок, указывающий наинизшую температуру, сохранит то положение, которое он занимал в момент обращения хода температуры, и будет показывать все время температуру этого слоя. Наши опыты показали, правда, что до глубины около 1000 туазов температура непрерывно понижается и что в пределах до этой глубины возражения против термо-

* Можно было бы ответить: теория, так как более теплая вода должна подниматься кверху. Однако, во-первых, бо́льшая легкость воды, обусловливаемая теплом, может компенсироваться бо́льшим содержанием солей и бо́льшим давлением. Во-вторых, еще недавно д-р Эрман мл. доказал (Pogg. Ann., 1828, стр. 3), что в морской воде температура наибольшей плотности до точки замерзания отсутствует. Но и здесь она не замерзает, вследствие большого давления, при котором она находится (ср.: Parrot. Physik d. Erde, стр. 368). А как ведет себя удельный вес воды, охлажденной ниже температуры плавления, не существует ли здесь максимума плотности, — об этом мы ничего не знаем. Эти соображения получают некоторое подтверждение в опытах одного англичанина, который утверждает, что нашел в Индийском океане на глубине более высокую температуру воды; то же следует из наблюдений в полярных морях.

метра Сикста отпадают. Но именно поэтому для опытов и нужно применять сначала другие приборы. Наши опыты впервые показали, что термометр Сикста пригоден для наблюдения до глубины 1000 туазов, но не больше. Впрочем, как это видно из инструкции, нашей задачей и было одновременное пользование термометрографом и нашим прибором — для того, чтобы иметь возможность подтверждать показания одного данными другого. Однако в Лондоне г-н Коцебу не смог достать ни одного готового годного прибора, а иметь ненадежный прибор означало получить еще более сомнительные результаты.

3) Третий прибор для определения температуры в глубине моря был предложен Гейлсом. Он состоит из полого цилиндра, имеющего вверху и внизу по открывающемуся наверх круглому клапану. При погружении клапаны открываются давлением воды снизу и дают возможность последней свободно проходить сквозь цилиндр. При подъеме возникает давление сверху, клапаны закрываются и в цилиндре остается вода из исследуемой области. Такова простая идея изобретателя. Она представляет то большое преимущество, что при этом одновременно доставляется наверх вода, которая может служить и для других целей, например для определения содержания солей.

Хорнер (Reise um die Welt von Kap. Krusenstern, 3. Th., стр. 131) выдвигает против этого прибора следующие возражения:

„Трудности изготовления плотно закрывающихся клапанов и, особенно, то обстоятельство, что тело такого сопротивления и веса нелегко будет вытянуть наверх с глубины двух-трех сот саженей без перерыва и остановки, к чему еще прибавляется неизбежная качка корабля, сильно снижают применимость этого прибора. К тому же в течение 5—10 минут, необходимых для подъема прибора, заключенная в нем вода вряд ли сохранит свою первоначальную температуру, если цилиндр не защищен плохо проводящими тепло веществами. Эта защита, однако, увеличила бы, к большой невыгоде прибора, его размеры. И даже при самом хорошем завертывании и закрывании цилиндра,

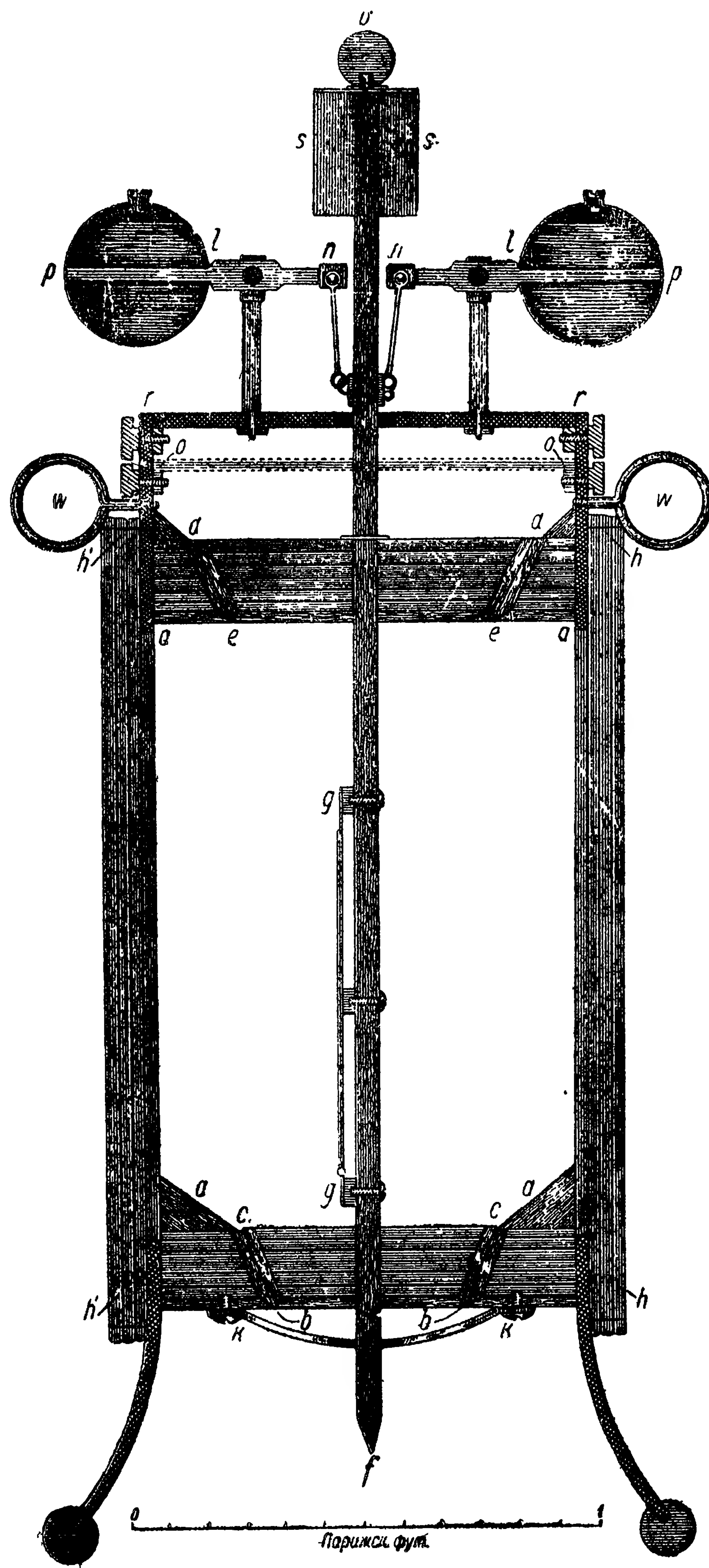
все же вместо уверенности в том, что термометр совсем не изменялся, будет только вероятность". При этом он выражает удивление тому, „что даже современные естествоиспытатели довольствуются таким сомнительным изделием, так как подобные термометрографы, являющиеся скорее простыми игрушками, так долго применяются".

Мы здесь подробно приводили собственные слова Хорнера, поскольку в них приводятся все возражения, которые действительно могут быть сделаны по отношению к приборам подобного типа.

Бывший в нашем распоряжении прибор по идее таков же. Однако как он устроен, для того чтобы давать наибольшую точность результатов, — лучше всего объяснит его подробное описание, и мы будем в состоянии судить, в какой мере к нему относятся приведенные Хорнером возражения.

Доверенный нам батометр является изобретением г-на статского советника Паррота и был изготовлен под его непосредственным наблюдением. Все поправки к нему определялись нами по указаниям Паррота и преимущественно в его присутствии.

Прибор вмещает 64 фунта (по 14 унций аптекарского веса) воды. Такое большое количество воды дает уже то преимущество, что при подъеме прибора она не так легко нагревается, как в небольшом приборе Гейлса, так как объем растет скорее, чем поверхность. Далее, дело за тем, чтобы эту воду изолировать так, чтобы она при подъеме не перемешивалась с водой верхних слоев и воспринимала возможно меньшее количество тепла. На фиг. 1 изображено устройство батометра в $^1/_6$ натуральной величины. Для нашей экспедиции было изготовлено 2 именно таких одинаковых батометра. Здесь *aaaa* — полая камера прибора 16 дюймов высотой и 11 дюймов в диаметре (по Парижской системе мер, как и все данные в этой статье, при отсутствии особых оговорок), ограниченная цилиндрической оболочкой высотой *hh* и диаметром *hh'*. Сделана эта оболочка из луженой, так называемой „аршинной" жести, толщиной в $^1/_4$ линии и площадью в 1 кв. аршин



Фиг. 1.

(1 аршин = 28 англ. дюймам). В двух латунных днищах, *acca* и *bb*, ограничивающих камеру, расположены клапаны *bccb* и *deed*. Оба клапана укреплены на железном стержне *f* так, что могут открываться и закрываться только одновременно. Закрепление достигается припаиванием стержня к днищам клапанов *ee* и *bb* и к жестяным крестовинам *cc* и *dd*. Клапаны представляют собой конические поверхности, пришлифованные к другим таким же; последние получаются таким образом: в днищах *acca* и *bb* в середине делается клинообразный вырез, и в него вставляется конус *bccb* и *deed*. К этому следует прибавить, что как клапаны, так и днища, в которые они должны быть притерты, — литые из одного куска, так как вальцованную латунь нельзя отшлифовать с достаточной для плотного прилегания кривых поверхностей точностью. Клапаны по размерам различны, так как нижний должен проходить сквозь нижнее отверстие верхнего. Наименьший диаметр нижнего клапана — 5 дюймов, верхнего — 7 дюймов. Листовые треугольники у *h*, *h'*, *a* и *a*, по 4 сверху и снизу, служат для закрепления муфт, в которых расположены клапаны; они припаяны к наружной части сосуда.

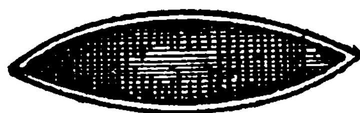
К железному стержню *f* привинчен термометр *gg* так, что его шарик расположен неподалеку от нижнего клапана, потому что, в случае нагревания, наиболее холодный (т. е. наиболее близкий к истинной температуре) слой воды будет находиться ниже остальных. Поскольку прибор был предназначен для погружения, где возможно, до глубины в 3000 туазов, то уже обыкновенным термометрам из тонкого стекла довериться было невозможно. Поэтому был изготовлен специальный термометр, у которого толщина стекла шарика достигала $^1/_2$ линии; хотя вследствие этого теплопередача несколько и ухудшилась, но это не имело никакого значения, поскольку прибор всегда находился на глубине в течение $^1/_4$ часа и, кроме того, термометр приходил туда уже значительно охлажденным. При подъеме прибора и отсчете температуры эта нечувствительность являлась скорее преимуществом, нежели недостатком.

Для того, чтобы положение стержня совпадало с вертикальной осью прибора, применены две железные планки с отверстиями; одна расположена внизу у *kk*, другая стоит перпендикулярно плоскости чертежа и обозначена пунктирной линией *oo*, которую нужно представить себе повернутой на 90°.

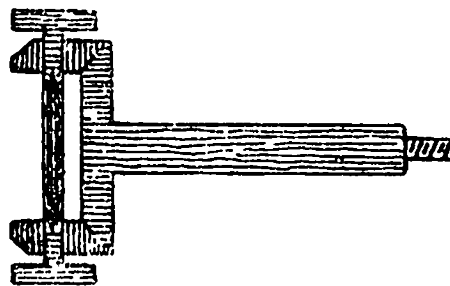
Описанное устройство дает возможность клапанам перемещаться вверх и вниз и запирать при этом находящуюся в полости *aaaa* воду. Так как открытие и закрытие клапанов осуществляется не чем иным, как сопротивлением воды, возникающим при опускании и подъеме прибора, то для того, чтобы это происходило надежно и своевременно, клапаны должны быть невесомы. Проще всего это достигалось бы посредством прикрепленного к стержню *f* пустотелого латунного шара; однако поскольку прибор предназначался для опускания до глубины 3000 туазов и посему должен был выдерживать давление около 600 атмосфер, то, как показывает расчет, если не сделать шара очень большим и тяжелым, он не выдержал бы такого давления. В самом деле, если взять толщину латуни, равной 1 линии, то согласно расчету диаметр шара должен быть $8^1/_2$ дюймов, и на каждую половину его поверхности, равную 113 кв. дюймам, должно было бы приходиться гидростатическое давление, соответствующее весу 1100 куб. футов ртути, каковго шар явно не выдержит. Определенный расчетом диаметр в $8^1/_2$ дюйма является тем диаметром, при котором шар будет только плавать, а для того, чтобы поддержать вес клапанов, он должен быть еще больше. Можно рассчитать, какова же должна быть толщина латуни для того, чтобы шар смог выдержать такое давление, исходя из того, что диаметр возрастает по мере увеличения толщины металла, причем сопротивляемость возрастает пропорционально кубу толщины, а действительно требуемая прочность пропорциональна квадрату диаметра.

Однако без всех этих неудобств можно для уравновешивания клапанов взять в помощь силу тяжести, и расчет показывает, что, если увеличенная плотность и пониженная температура

воды меняют удельный вес последней, то разность, зависящая только от разности плотностей входящих в прибор материалов, уравновешивается грузом всего в несколько сот гран. Механизм ясен из чертежа. На стержне *f* непосредственно над планкой *rr*, в точке припаяно с каждой стороны по небольшому кольцу, за которые зацеплены концами проволочки *n*; другие концы последних свободно двигаются по концам *nn* рычагов *ln*, имеющих на противоположных концах насаженные на них наполненные свинцом латунные чечевицы. На фиг. 2 они изображены в поперечном разрезе. Внутри каждой из них имеется пустое про-



Фиг. 2.



Фиг. 3.

странство, при юстировке заполняемое дробью. Рычаги своими осями покоятся в вилке (фиг. 3), привинченной к планке *rr*.

Окончательное регулирование противовесов производилось в воде, содержащей в себе $^1/_{30}$ часть растворенной соли, так что клапаны, вес которых был $7^1/_2$ фунтов, закрывались избыточным усилием в $^1/_2$ унции, что вполне достаточно, чтобы на всех глубинах до 3000 туазов преодолеть влияние холода и увеличивающейся от давления плотности. Однако спрашивается: достаточна ли будет величина сопротивления воды при падении для преодоления этого избыточного усилия?

Примем скорость падения при установившемся режиме равной 1 футу в секунду. Этому соответствует давление водяного столба около $^1/_6$ дюйма. Площадь нижнего клапана равна 38.5 кв. дюйма, следовательно давление будет равно 7.3 куб. дюйма воды, т. е. 4.93 унции. Но опыт показал, что когда это падение наименьшее, т. е. в нашем случае происходит до глубины, близкой к 1000 туазам, оно совершается со скоростью свыше 3 футов в секунду, из чего явствует, насколько больше давле-

ние воды, нежели усилие, необходимое для открытия клапанов. Закрытие происходит также с усилием, которое достаточно для преодоления всех случайностей. Опыт показал, что с глубины 1000 туазов 2 человека поднимают трос со скоростью 1 фут 3 дюйма в секунду. Верхняя поверхность клапана равна 63.57 кв. дюйма, и соответствующее скорости в 1 фут 3 дюйма в секунду давление воды измеряется, приблизительно, водяным столбом в $^1/_3$ дюйма высотой, т. е. равно 2.12 куб. дюйма воды, или 14.1 унции.

Устроенные таким образом клапаны будут совершенно правильно работать в воде. Однако в конце опыта, в то мгновение, когда прибор выходит из воды, можно потерять плод всего труда, так как грузы *pp*, выйдя из воды, сразу же откроют клапаны, и содержащаяся в приборе вода вытечет назад в море. Произойдет это потому, что грузы утяжелятся на вес равного им по объему количества воды, в то время как клапаны и стержень все еще будут в воде и, следовательно, в весе не прибавят. Значит, в этот момент необходимо применить какой-то противовес, который не оказывал бы действия под водой. Таковым служит открытый жестяной сосуд *ss*, вес которого при регулировании учитывается как часть веса клапанов. При погружении он наполняется водой, и только при вытаскивании содержащаяся в нем вода своим весом начинает давить на клапаны. Этот сосуд имеет надлежащий размер, если его объем на $^1/_4$ больше суммарного объема обеих чечевиц. Сосуд закрепляется сверху стержня латунным барашком *v* и образует верхний конец стержня. Весь прибор подвешен на шарнирной дужке, расположенной в плоскости, перпендикулярной плоскости чертежа.

К большому сосуду припаяны 4 железных стержня; на 2 из них опирается планка *rr* и 2 железных кольца (служащих частью для защиты от толчков, частью как ручка для переноса с места на место). На 2 других покоится обозначенная на чертеже пунктиром уже упомянутая выше планка *oo*, лежащая в плоскости дужки, которая, вместе с нижней планкой *kk*,

служит для поддержания стержня *ff* в вертикальном положении, а также для того, чтобы ограничить упором кольца (на фиг. 1 оно изображено лежащим на *dd*) его подъем. Три одинаковых железных прута с привинченными внизу латунными шариками служат ножками прибора.

Наконец, особо важно предохранить заключенную в приборе воду от влияния находящейся в верхних слоях более теплой воды. Воздушные прослойки здесь не применимы, так как громадное давление, действующее в глубине, их сдавило бы. Поэтому приходится применять впервые высказанный Парротом в его „Grundriss d. Physik“ (Bd. II, стр. 30) закон, что разнородность веществ задерживает прохождение тепла. Это положение он в указанном месте подтверждает двумя опытами и особенно удачно вторым, где при прочих равных условиях нагревается одно и то же количество воды, в одном случае, — когда оно лежит над водой, в другом — над ртутью, и хотя ртуть обладает теплопроводностью в 28 раз большей, чем вода, температура в первом случае растет быстрее. Этим положением объясняется то обстоятельство, что мех, шерсть, соломенная крыша и т. п. так хорошо сохраняют тепло, поскольку они именно по своей природе состоят из большого количества чередующихся слоев вещества и воздуха, задерживающих прохождение тепла. Следуя этому указанию, вся наружная поверхность нашего цилиндра была обернута 4 чередующимися слоями тонкого листового железа и грубой ткани, предварительно проваренной в смеси воска и сала и пропитанной ими. Сверху и снизу эта оболочка была хорошо зашита, обтянута холстом и покрыта несколькими слоями масляной краски. Так как все эти слои не могли настолько плотно прилегать друг к другу, чтобы не пропускать просачивающуюся воду, то возникало новое разнородное вещество, и в результате теплота, прежде чем достигнуть непосредственно прибора, должна была пройти через 17 слоев разнородных веществ.

Один из приборов весил в воздухе 84 фунта 7 унций, в соленой воде — 45 фунтов 7 унций. Второй был на $2^1/_2$ фунта легче.

Работал наш батометр следующим образом: прибор прикреплялся к тросу и свободно опускался до достижения нужной глубины, где оставался, по возможности, в течение получаса (в наших опытах, ввиду непродолжительности полного штиля, это время приходилось в большинстве случаев сокращать до $^1/_4$ часа). Затем прибор как можно скорее подымался наверх. К моменту его поднятия подготовлялось железное ведро, в середине днища которого было сделано специальное возвышение. Прежде чем ножки прибора касались дна ведра, нижний конец стержня упирался в это возвышение, вследствие чего само собою происходило открытие клапанов; чтобы клапаны смогли открыться, нужно было только предварительно освободить планку *rr* и винты в планке *oo*. Температура отсчитывалась, как только показывалась шкала термометра. Последний, попадая на воздух, сразу же начинал нагреваться, но это нагревание тут же компенсировалось испарением воды, оставшейся на шарике термометра. Возможная при этом погрешность, по всей вероятности, очень незначительна.

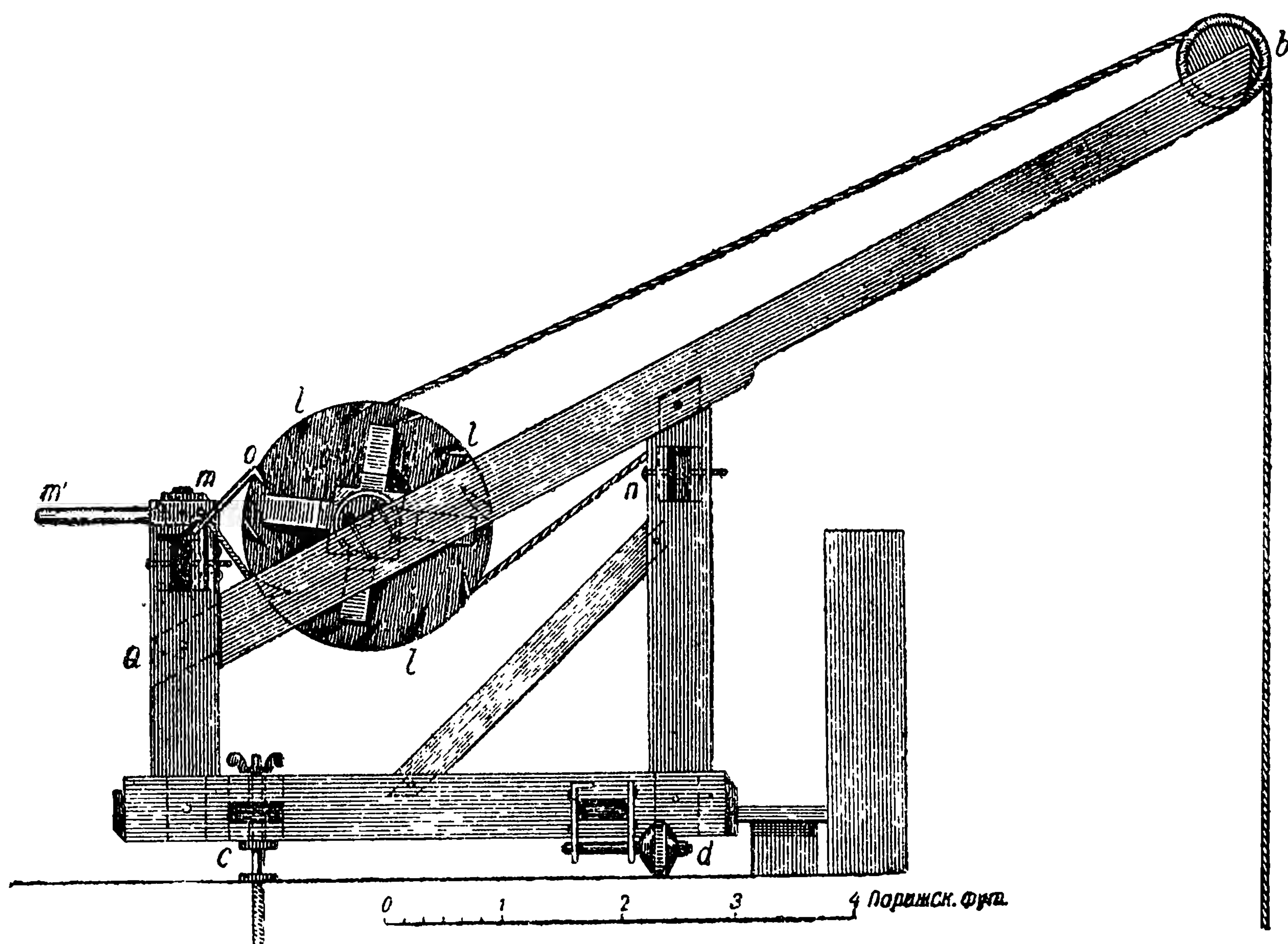
Все же прибор до отправки нужно было подвергнуть в особенности двум испытаниям, одному — чтобы убедиться в том, что клапаны закрываются наглухо, другому — для предварительного изучения передачи тепла (испытание должно было показать, не будет ли очень велика необходимая поправка). При первом испытании прибор был опущен в большой наполненный водой бак, затем вытянут оттуда и свободно подвешен в воздухе на 4 часа. В продолжение этих 4 часов, хотя вода всей высотой своего столба стремилась проникнуть наружу, потеря составила менее 4 унций, что меньше $^1/_{224}$ всего веса. Принимая во внимание, что во время опытов в море утечка может иметь место только при подъеме и только благодаря неодинаковости удельных весов, можно видеть, что там потеря будет только одна та, которая будет вызываться расширением воды под действием более высокой температуры верхних слоев, и что батометр всегда будет наполнен водой, взятой с наибольшей глубины.

Для второго испытания вышеупомянутый бак был наполнен водой с температурой 19°.4 С (температура окружающего воздуха). В него был опущен прибор, который при этом наполнился находящейся в баке водой. Затем прибор был вынут из бака, а в последний бросался лед — до тех пор, пока температура находящейся в баке воды не достигла 0°.5. Тогда батометр был вновь погружен в бак; там он оставался в течение 2 часов; при этом температура воды в баке все время поддерживалась равной 0°.5. После этого прибор был вынут и была измерена температура заключавшейся в нем воды. Она оказалась 11°.5. Разница составляет 7°.9; она была бы всего в 3°.9, если бы батометр перемещался в воде, температура которой равномерно убывала бы снизу вверх, ибо, как показали нам более поздние опыты, охлаждение происходит приблизительно пропорционально разности температур.

Таким образом, было предпринято все возможное для того, чтобы сделать наш прибор более совершенным; остается только описать трос и приспособление для спуска последнего.

Когда читаешь и слышишь заявления моряков о трудностях, связанных с вытаскиванием длинных тросов из воды, можно отчаяться достигнуть в море глубины даже в 1000 туазов. К счастью, те большие сопротивления, которые моряки ощущают при вытаскивании троса, возникают не вследствие трения троса о воду, как они предполагают: действительно, в таком случае наш батометр не смог бы погружаться со скоростью 3 футов в секунду, ибо трение при движении троса как вверх, так и вниз должно быть одинаковым. В первом случае оно преодолевается самим весом опускаемого тела и троса, причем вес троса составляет $^1/_3$ его веса в сухом состоянии. Почему бы и в случае подъема сопротивление не могло быть преодолено такой же силой, тем более, что подъем может с трудом производиться со скоростью, превышающей 2 фута в секунду? Причина того, почему это происходит, заключается в следующем: обычно на кораблях грузы вытаскиваются рывками, причем после каждого рывка трос и груз не только останавли-

ваются, но и падают немного обратно вниз, и поэтому при каждом новом рывке нужно преодолеть не только инерцию груза, троса и воды, увлекаемой вверх силою трения, но и начало обратного движения, — сопротивление, которое во многих случаях, особенно при быстром вытягивании, может ока-

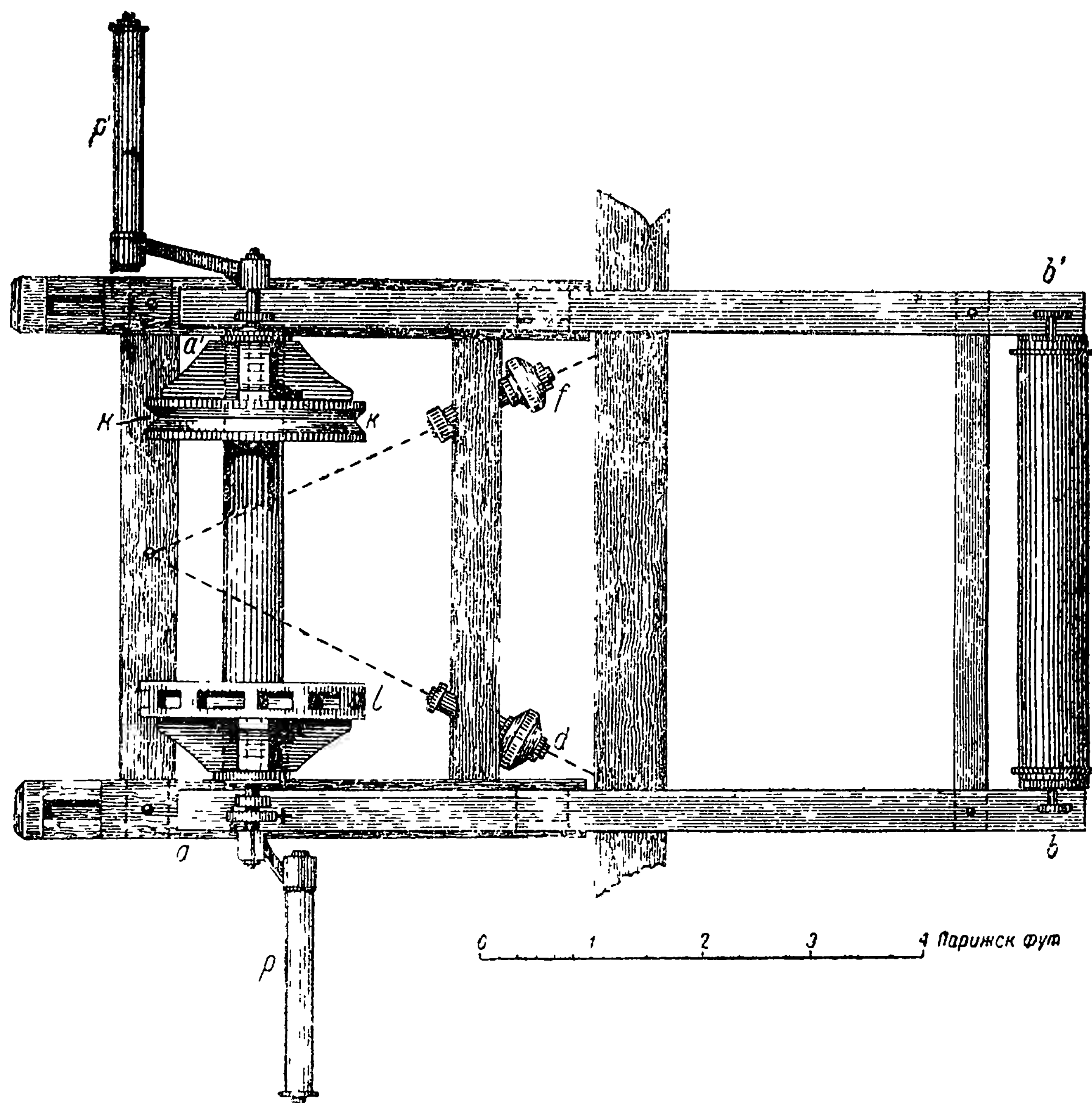


Фиг. 4.

заться даже в 10 раз больше нормального сопротивления. Для того, чтобы достигнуть любой глубины моря и затем вытащить трос, не порвав его, необходимо, чтобы вытягивание последнего происходило непрерывно и равномерно. Поэтому в нашем случае канат наматывался на большую катушку в 2 фута 2 дюйма длины и 2 фута диаметром в свету (Смотри для этого фиг. 4, где дан боковой вид катушки с рамой, и фиг. 5, где дан ее вид сверху). Катушка своими двумя цапфами опирается на раму. Между двумя идущими

3*

наклонно вверх длинными раскосами ab и $a'b'$ расположен длинный ролик bb', выступающий за борт. Через этот ролик трос и шел при подъеме и спуске. Вся рамка вращается вокруг оси c на двух других роликах, d и f. Поворотом рамы



Фиг. 5.

ролик bb' может быть выставлен за борт или втянут обратно. Катушка на каждой своей щеке имеет специальное задерживающее устройство. В одной щеке сделан призматический паз kk (фиг. 5), в котором помощью рычага $m'm$ можно зажать специальный трос mn (фиг. 4) и тем самым замедлить трением движение. Другая щека снабжена зубьями l, l, l, и крючком o, посредством которых движение может быть совсем остановлено.

Две рукоятки pp' (фиг. 5), прикрепленные к цапфам под углом 108°, позволяют осуществлять подъем с помощью 1—4 человек. При работе на глубинах в 3000 туазов, на которые рассчитан наш прибор, трос не должен быть толще и тяжелее, чем это является необходимым, так как иначе возникают затруднения с местом и силой для работы. Поэтому были произведены соответствующие исследования, имевшие целью определение грузоподъемности троса и веса его в воде. В основу исследований был положен тот принцип, чтобы при любой длине троса и любой возможной остановке при подъеме трос обладал 4-кратным запасом прочности, дабы, потеряв вследствие износа и частых намоканий часть своих качеств, он все же оставался достаточно прочным в течение 3—4 лет.

Итак, было взято 3 непросмоленных троса, длиной каждый по 1000 туазов. Толщина каждого соответствовала предназначенной для него нагрузке, а именно: первый трос должен был нести только груз, равный весу прибора плюс собственный вес; второй — кроме того еще собственный вес, и третий — нагрузку второго плюс собственный вес.

Результаты взвешивания тросов приведены в следующей таблице:

№ 1 в сухом состоянии имел длину 6 футов и весил		484	грана апт. веса
полностью намокший	„	647.5	„ „ „
в воде	„	161.5	„ „ „
№ 2 в сухом состоянии имел длину 6 футов и весил		610	„ „ „
полностью намокший	„	818.5	„ „ „
в воде	„	204.0	„ „ „
№ 3 в сухом состоянии имел длину 6 футов и весил		1028	„ „ „
полностью намокший	„	1379	„ „ „
в воде	„	341.5	„ „ „

Следовательно, весь трос в сухом состоянии весил 316 фунтов, а мокрый, в воде — 105 фунтов 4.5 унции.

Из этих испытаний, а также и из многих других, проделанных для определения подходящей толщины, выяснилось, что трос, полностью пропитавшийся водой, имеет в воде вес, равный $^1/_3$ его веса в сухом виде, и что этот вес можно поло-

жить равным весу впитанной им воды, откуда нужно заключить, что сухой трос случайно имеет тот же удельный вес, что и вода.

Пеньковый трос при намокании, как известно, укорачивается, а под действием подвешенного груза опять вытягивается. Эти изменения длины очень важно знать при оценке достигнутой глубины, и их поэтому нужно было определить. Для этого пробные куски троса измерялись сначала в сухом виде, затем в полностью намокшем и, наконец, под нагрузками, которые трос должен был нести при разных длинах, через каждые 200 туазов. Таким образом выяснилось, что все 3 троса вместе дают на длине 2800 туазов удлинение в $213^5/_6$ туаза, так что при длине троса в 2800 фактически достигалась глубина в $3013^5/_6$ туаза. Однако трос всегда брался длиннее 3000 туазов, чтобы в том случае, когда корабль не стоит на месте, а движется, увлекаемый верхними слоями воды, длины троса все же хватило для достижения полной вертикальной глубины в 2000 туазов.

Для точного измерения длины троса было изготовлено особое приспособление, помощью которого весь трос, состоящий из одного куска, нагружался через очень точно измеренное расстояние в 6 туазов определенным грузом, а именно: трос № 1 — 4 фунтами, № 2 — 6 и № 3 — 8 фунтами. Это устройство состояло из равноплечего углового рычага, к вертикальному плечу которого крепился конец измеряемого троса, а к горизонтальному подвешивался натягивающий груз.

Через каждые 10 туазов нашивались номера; сотни и тысячи различались цветом номеров, а единицы обозначались продернутыми нитками. Чтобы, наконец, быть уверенным, что в тросе нет отдельных более тонких мест, он по всей длине пропускался через своего рода пропорциональный циркуль, который стрелкой на шкале отмечал в двенадцатикратном размере отклонения в толщине. Некоторые особо тонкие места вырезались, и трос вновь сращивался.

Если внимательно соблюдать все эти меры предосторожности, то можно убедиться, что приведенные ранее (стр. 25—26)

возражения Хорнера против приборов подобного типа в нашем случае отпадают и что вообще до сего времени более совершенного, нежели наш, прибора не существовало. Первое возражение Хорнера, касающееся неплотного закрытия клапана, разбивается приведенным опытом (стр. 33), результат которого не оставляет желать лучшего. Неравномерность подъема, с которой вообще приходится считаться, у нас также не имеет места вследствие применения устройства для наматывания троса на катушку помощью рукояток (стр. 37). Его последнее возражение относительно неточности измерения температуры, вообще говоря, справедливо, но если ввести указанную далее поправку, то неточность будет очень незначительной, во всяком случае меньшей, нежели у термометра Сикста, так как, по крайней мере, не будет зависеть от случайностей, как это имеет место у последнего.

Только в силу точного описания всех отдельных мер предосторожности, принятых нами при изготовлении нашего батометра, мы считаем себя вправе рассчитывать на полное доверие к результатам приводимых далее опытов, как являющимся истинным отражением действительности.

Следует отметить, что помимо приводимых опытов в нашем дневнике есть еще данные о результатах наших самых первых опытов. Однако, по многим причинам, мы имеем основание сомневаться в их точности, особенно вследствие того, что наши манипуляции по подъему прибора через борт проходили еще не совсем гладко и мы вынуждены были сделать в приспособлении кое-какие изменения. Раскосы, на которых в нашей раме (фиг. 4 и 5, ab и a' b') укреплен ролик, через который проходил трос, оказались слишком короткими, так что трос задевал корпус корабля.

Поэтому мы пустили трос через блок-рею средней мачты. Это, в свою очередь, вследствие отдаленности реи от борта, создавало известные трудности, так что первые опыты рассматриваются нами как пробные, и результаты их в нижеследующей таблице мы не приводим.

Дата наблюдения	Географическое положение места наблюдения		Глубина, в туазах	Угол, образуемый тросом с вертикалью	Показания температуры, °C	Время подъема, в минутах	Примечания*
	северная широта	западная долгота, от Гринвича					
10 октября 1823 г.	7°20′	21°59′	0	—	25.8	—	С прибором № 1.
			500	0°	5.0	30	
18 мая 1824 г.	21 14	196 1	0	—	26.4	—	С этого момента все наблюдения производились с прибором № 2.
			979	25°	4.6	56	
			649	10°	4.9	32	Время пребывания на глубине — 10 минут.
			399	0°	5.1	17	Время пребывания на глубине — 10 минут.
			139	10°	16.7	6	
8 февраля 1825 г.	25 6	156 58	0	—	21.5	—	
			179	25°	14.0	3	Время пребывания на глубине — 2 минуты.
24 августа 1825 г.	41 12	141 53	0	—	19.2	—	
			199	0°	5.9	10	
			525	20°	3.4	25	

Продолжение

Дата наблюдения	Географическое положение места наблюдения		Глубина, в туазах	Угол, образуемый тросом с вертикалью	Показания температуры, °C	Время подъема, в минутах	Примечания*
	северная широта	западная долгота, от Гринвича					
31 августа 1825 г.	32°6′	136°48′	0	20°	21.45	—	
			89	10°	13.54	4	
			229	25°	7.06	8	
			479	25°	4.75	15	
			579	10°	3.56	19	
6 марта 1826 г.	32 20	42 30	0	—	20.86	—	
			969	5°10′	3.92	50	
24 марта 1826 г.	45 53	15 17	0	—	14.64	—	
			192	0°	10.56	9	Время пребывания на глубине — 8 минут.
			383	0°	10.2	13	

* Во всех неотмеченных случаях время пребывания на глубине равнялось 15 минутам.

В таблице все данные приведены в том виде, в каком они были получены при отсчетах непосредственно во время наблюдений, и только в шестом столбце значения температуры уже исправлены по таблице поправок. Эта таблица поправок составлена путем сравнения всех термометров с одним, выверенным помощью метода отделения и постепенного перемещения ртутного столбика. По этим постепенным перемещениям ртутного столбика составлена нижеследующая таблица, где для обозначения градуса, у которого столбик каждый раз находился, брался всегда верхний, обращенный к точке кипения конец.*

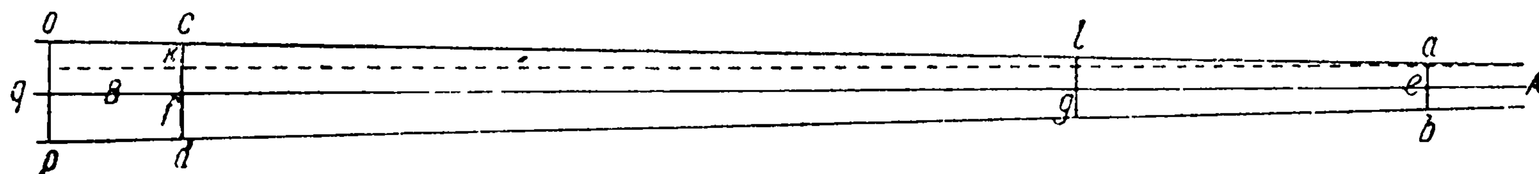
Когда верхний конец столбика находился на	95°00	его	длина	была	16°80
	89.90	„	„	„	16.70
	84.80	„	„	„	16.70
	80.00	„	„	„	16.70
	74.70	„	„	„	16.65
	70.10	„	„	„	16.60
	64.85	„	„	„	16.55
	59.70	„	„	„	16.50
	54.90	„	„	„	16.40
	49.80	„	„	„	16.40
	44.90	„	„	„	16.40
	40.40	„	„	„	16.40
	34.10	„	„	„	16.30
	30.00	„	„	„	16.30
	24.70	„	„	„	16.20
	95.00	„	„	„	16.80

Посмотрим, как совпадет эта таблица с расчетом, если выбрать два наблюдения — при 90°, для которого длина столбика равна 16.7, и при 30°, для которого она равна 16.3, — и считать заключенную между этими точками часть столбика конической.

* В то время способ Бесселя для поверки термометров был нам еще неизвестен.

Для этой цели мы сначала выведем общую формулу увеличения радиуса трубки для определенной длины последней.

На фиг. 6 представлен продольный разрез нашей термометрической трубки, с узким концом A, обращенным к точке кипения. Пусть длина столбика при ab равна m и при dc равна n, так что $ge = m$ и $fq = n$; радиус $eb = r$, радиус $fc = r + x$, где через x обозначено kc, или приращение радиуса на длину fe, которую полагаем равной a.



Фиг. 6.

Формула объема усеченного конуса при высоте h и площадях его оснований d и b, будет $\frac{1}{3}h\left(d + b + \sqrt{db}\right)$.

Но для стороны A площадь при радиусах

$$eb = r^2\pi = d,$$

$$gl = \left(r + \frac{mx}{a}\right)^2 \pi = b,$$

высота столбика ртути при A

$$ge = m = h.$$

Таким образом, объем столбика при A

$$= \frac{1}{3} m \left[r^2\pi + \left(r + \frac{mx}{a}\right)^2 \pi + r\pi\left(r + \frac{mx}{a}\right)\right],$$

или, если развернуть выражение, стоящее в квадрате, и отбросить члены, содержащие x^2, как очень малые величины, получим выражение объема

$$= \frac{1}{3} m \left[r^2\pi + \left(r^2 + \frac{2rm}{a}x\right)\pi + \left(r^2 + \frac{rmx}{a}\pi\right)\right],$$

$$= \frac{1}{3} m \left(r^2 + r^2 + r^2 + \frac{3rmx}{a}\right)\left[^2\right],$$

$$= m\pi\left(r^2 + \frac{rmx}{a}\right).$$

Для стороны B площади, соответствующие радиусам

$$cd, \text{ равна } (r^2 + x)^2 \pi = d,$$

$$op, \text{ равна } \left(r + \frac{a+n}{a} x\right)^2 \pi = b,$$

высота столбика при B

$$fq = n = h,$$

так что объем столбика при B

$$= \frac{1}{3} n \left[(r + x)^2 + \left(r + \frac{a+n}{a} x\right)^2 \pi + (r + x) \left(r + \frac{a+n}{a} x\right) \pi \right]$$ [3].

Развертывая это выражение и также отбрасывая члены, содержащие x^2, получим объем

$$= \frac{1}{3} n\pi \left(r^2 + 2rx + r^2 + 2rx \frac{2rnx}{a} + r^2 + rx + \frac{rnx}{a} + rx\right)$$ [4]

$$= \frac{1}{3} n\pi \left(3r^2 + 6rx + \frac{3nx}{a}\right) = n\pi \left(r^2 + 2rx + \frac{rnx}{a}\right).$$

Но так как столбик при A и при B состоит из одного и того же количества ртути, то объемы должны быть равны, и, следовательно, имеет место уравнение:

$$m\pi \left(r^2 + \frac{rmx}{a}\right) = n\pi \left(r^2 + 2rx + \frac{rnx}{a}\right),$$

$$m(r^2 a + rmx) = n(r^2 a + 2rax + rnx),$$

$$mr^2 a - nr^2 a = (2nra + rn^2 + rm^2)\, x,$$

$$x = \frac{(m-n)\, r^2 a}{rn^2 + 2nra - rm^2} = \frac{(m-n)\, ra}{n^2 + 2na - m^2}.$$

Подставляя в эту общую формулу наши значения для 90° и 30°, имеем

$$m = 16.7; \quad n = 16.3 \quad \text{и} \quad a = 60$$

и получим

$$x = \frac{(16.7 - 16.3)\, 60\, r}{265.69 + 1956 - 278.89} = \frac{24}{1942.8}\, r = 0.012353\, r;$$

итак, для 60° приращение радиуса $r = 0.012353\, r$.

Исходя из этих данных, легко вычислить, каков должен быть столбик ртути при 60°; он получается равным 16.50, т. е. как раз равен величине, указанной в вышеприведенной таблице наблюдений для 59°.7, значит и для 60°. Равным образом, и для других значений данные наблюдений и вычислений довольно хорошо совпадают, так что получающуюся небольшую разницу мы вправе отнести за счет неточности при наблюдениях. Отсюда вытекает, что предположение о конической форме термометрической трубки, причем конус широким концом обращен к точке замерзания, справедливо.

При этом предположении сведение поправки для отдельных градусов наших термометров уже просто; раз для 60° увеличение радиуса $= 0.012353\, r$, то для 100° оно равно $0.0206\, r$, и, следовательно, объем столбика ртути между точкой замерзания и точкой кипения по нашей приведенной выше формуле для усеченного конуса будет =

$$= \frac{1}{3}\, 100\, (1 + 1.0416 + 1.0206)\, r^2 \pi = \frac{1}{3}\, 100\, (3.0622)\, r^2 \pi,$$

где r — радиус при точке кипения.

Для $a = 10°$, $x = 0.00206$; объем $= \frac{1}{3}\, y\, (1 + 1.00426 + 1.00206)\, r^2 \pi$, и эта величина должна равняться $^1/_{10}$ объема для 100°, так что

$$\frac{1}{3}\, y\, (1 + 1.00426 + 1.00206)\, r^2 \pi = \frac{1}{3} \cdot \frac{100}{10} \cdot 3.0622\, r^2 \pi$$

$$3.00633\, y = 30.622,$$

следовательно, истинная длина для $10° = y = \frac{30.622}{3.00633} = 10.186$.

Таким образом, мы получили истинную длину 10°, считая от точки кипения, равной 10.186, следовательно, исправленный термометр вместо 90° показывает только 89.814.

Этим способом термометр был сперва исправлен через каждые 10°. Это пространство в 10° можно, как это подтверждается расчетом, рассматривать уже как цилиндр, и

поэтому отдельные градусы и десятые доли их можно получить простым делением столбика длиной в 10°. Таким образом, была составлена полная таблица поправок для данного термометра, а так как положение постоянных точек оказалось совершенно правильным, мы получили один основной термометр, по которому, путем сравнения при различных температурах, мы выверяли все остальные термометры,* служившие нам во время путешествия. Промежуточные градусы определялись на них путем интерполяции. В результате мы уверены, что со стороны термометра никакой ошибки в наблюдениях нет. В таблице наших опытов (стр. 40—41) приведенные значения температур, как это уже указывалось, даны с поправкой.

Следующая поправка, которую необходимо ввести в нашу таблицу, касается самих глубин, поскольку они искажаются вследствие растяжения троса и вследствие того, что трос, спущенный до исследуемой глубины, образует некоторый угол с вертикалью. Что касается растяжения, то оно должно быть определено предварительными опытами по этому вопросу. При этом должны, однако, заметить, что во время путешествия мы несколько изменили наш трос. После наших первых, приведенных в таблице опытов на глубине в 500 туазов мы опустили батометр на 1000 туазов; в это время корабль наш понесло ветром в сторону прибора, так что вскоре трос оказался под килем; поднявшийся одновременно довольно сильный ветер вынудил нас приступить к скорейшему вытаскиванию прибора, во время которого трос оборвался, и мы потеряли и свой прибор и 1000 туазов троса. При этом мы убедились, как трудно произвести полную серию опытов за один и тот же период штиля, так как продолжительность штиля обычно так мала, что редко дает возможность проде-

* Следует отметить, что данный термометр за 4 года совершенно не изменил своих постоянных точек; это противоречит известному факту, что эти точки через несколько лет оказываются выше, нежели указанные на шкале. То же самое получилось и еще с двумя термометрами; у них всех шарики были из очень толстого стекла.

лать больше 5 опытов подряд — разве только мы будем нарочно искать штиля: а так как основная цель нашего путешествия была не научная, то г-н Коцебу, наоборот, старался уходить от штилей возможно скорее.

Мы сняли оставшиеся еще куски тросов №№ 1 и 2 и производили последующие опыты только с 1000 туазами самого толстого троса № 3, с расчетом, что если на каком-нибудь месте мы достигнем этой глубины 1000 туазов, то надвяжем от второго троса остальные 2000 туазов и будем действовать дальше, если это позволит штиль, чего, впрочем, в продолжение всего нашего путешествия ни разу не случилось. Наши опыты, следовательно, относятся лишь к глубинам до 1000 туазов и произведены с применением самого толстого троса. Опыты же по определению растяжения троса были произведены в Дерпте для всех 3 толщин, а в наших действительных опытах на море толстый трос оказался утяжелен слишком большим грузом, а именно, весом 2 более тонких тросов, № 1 и № 2. Поэтому мы должны посмотреть, каким образом из определенного в Дерпте удлинения можно вывести истинное, и для этой цели мы и помещаем здесь данные опытов в Дерпте; в них всякое новое удлинение измерялось каждые полчаса.

3 фута (парижских) троса, нагруженного 103 фунтами $8^7/_8$ унции

+ 5 фунтов	$1\frac{1}{8}$ унции	вытягиваются на	3 дюйма	0 линий	
					разность = 6 линий
+ 15 „	$3\frac{3}{8}$ „	„ „	3 „	6 „	
					„ = 3 „
+ 25 „	$5\frac{5}{8}$ „	„ „	3 „	9 „	
					„ = 3.5 „
+ 35 „	$7\frac{7}{8}$ „	„ „	4 „	0.5 „	
					„ = 3 „
+ 45 „	$10\frac{1}{2}$ „	„ „	4 „	3.5 „	
					„ = 1 „
+ 48 „	$10\frac{1}{8}$ „	„ „	4 „	4.5 „	

Эти опыты следует понимать так. Подвешенный груз равен 103 фунтам $8^7/_8$ унции, и рассматривается растяжение для каж-

дых 200 туазов. Для первых 200 туазов к весу подвешенного груза добавляется еще вес половины куска в 200 туазов, так как трос несет еще и собственный вес и притом так, что верхнюю половину растягивает вес больший, чем вес половины куска, а нижнюю — вес, на столько же меньший веса половины. Получается, что весь трос растягивается силой, равной половине собственного веса, так что к подвешенному грузу в 103 фунта $8^7/_8$ унции необходимо добавить половину веса куска в 200 туазов, т. е. 5 фунтов $1^1/_8$ унции (разумеется, речь идет все время о весе троса в воде). Вторые 200 туазов растягиваются: 1) подвешенным грузом в 103 фунта $8^7/_8$ унции, 2) весом первых 200 туазов и 3) половиной собственного веса; таким образом, в сумме на них действует вес подвешенного груза и утроенный вес половины куска в 200 туазов, иными словами 103 фунта $8^7/_8$ унции + 15 фунтов $3^3/_8$ унции. Рассуждение продолжается так вплоть до последних туазов в вышеприведенной таблице; там трос имеет длину уже не в 200 туазов, а всего в 120 туазов. Поэтому он растягивается подвешенным грузом, весом 1000 туазов троса и половиной собственного веса, т. е. 103 фунтами $8^7/_8$ унции + 45 фунтов $10^1/_8$ унции + 3 фунта.

Таковы опыты, проделанные до путешествия. Посмотрим, каким образом мы выведем величину растяжения в нашем случае. Если рассмотреть таблицу и взять из нее первое и последнее значения, то можно увидеть, что растяжение для каждых последующих 10 фунтов $2^1/_4$ унции одинаково, с точностью в пределах, возможных при таких опытах. В последнем опыте добавилось всего 3 фунта. Если бы это было 10 фунтов $2^1/_4$ унции, то, согласно пропорции, растяжение было бы равным 3.4, т. е. тоже незначительное отклонение, и только для первых 200 туазов удлинение получается почти двойное. Если такой большой результат рассматривать просто как ошибку в наблюдениях (что возможно, тем более, что при совершенно подобных опытах с 2 остальными тросами не получалось таких скачков в первом члене ряда) или ошибку

при первоначальном отмеривании 6 футов, то для определения увеличения веса этих 10 фунтов $2^1/_4$ унции надлежит взять среднее значение из 4 последних разностей, считая последнюю, четвертую, тоже за 10 фунтов $2^1/_4$ унции, что дает как среднее растяжение для груза в 10 фунтов $2^1/_4$ унции величину 3.23 линии. Если, далее, для определения значения подвешенного груза, вызывающего растяжение в 3 дюйма, принять, что этот закон имел место с самого начала, то получаем пропорцию

$$10 \text{ фунтов } 2\frac{1}{4} \text{ унции, или } 10.19 : 3.'''23 = x : 36''';$$

следовательно,

$$x = \frac{366.84}{3.23} = 113.6 \text{ фунта.}$$

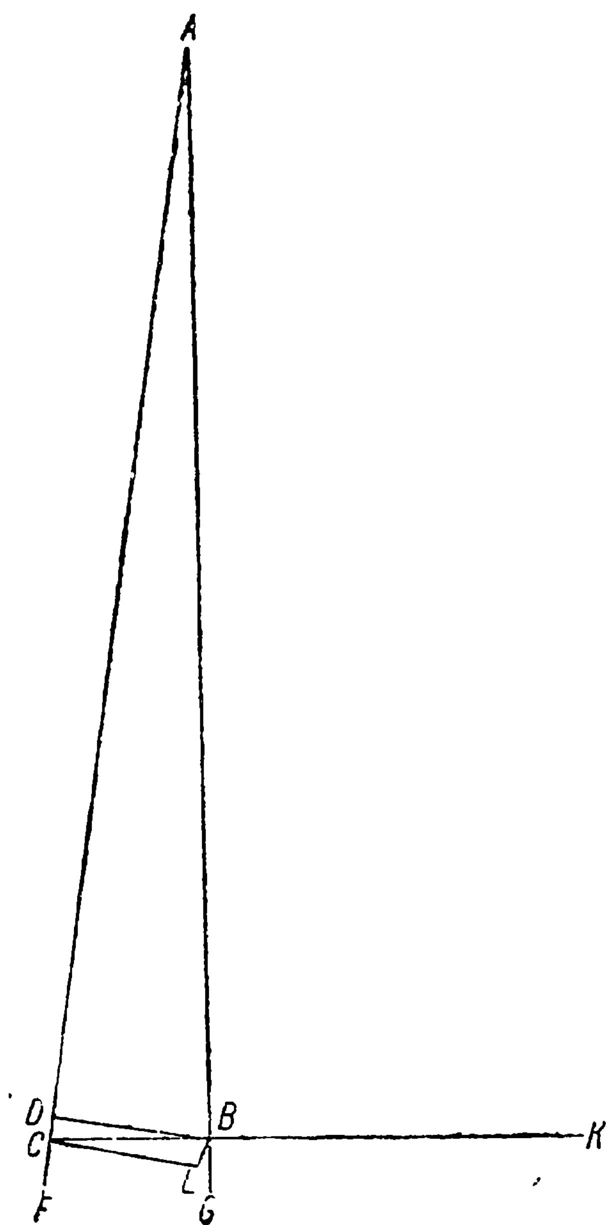
Итак, для растяжения на 3 дюйма необходим груз в 113.6 фунта, вместо полученного в наблюдениях груза в 108 фунтов, — ошибка для такого вида опытов совсем незначительная, так как при 108 фунтах подвешенного груза среднее значение удлинения для 10.19 фунта должно было составлять 3.37 линии вместо 3.23 линии, т. е. разница получается всего лишь в 0.14 линии — ошибка, которой при измерении удлинения трудно избежать.

Таким образом, для троса № 3 можно считать справедливым закон, по которому удлинение пропорционально величине подвешенного груза; это напоминает закон С'Гравезанда о растяжении упругих струн под действием подвешенного груза (ср.: Biot. Traité de physique, t. 1, стр. 479). Этот закон находит свое подтверждение для нашего троса в опыте, произведенном с ним еще в Дерпте, когда груз в 177 фунтов вызвал удлинение в 4 дюйма 8 линий. Согласно нашему закону, для такого груза вычисление дает пропорцию

$$108.78 : 177 = 36 : x,$$

следовательно $x = 4$ дюйма 8.7 линии. Таким образом, данные вычисления и наблюдения отличаются друг от друга лишь на $0.7'''$.

Мы должны, однако, отметить, что этот закон ни в каком случае не применим для тросов № 1 и № 2. Для № 1, согласно произведенным опытам, вычисленный груз получается в 27.54 фунта, в то время как в действительности он равен 53 фунтам 11 унциям, т. е. почти вдвое больше. Для № 2, т. е. троса средней толщины, вычисленный груз оказался в 58.6 фунта вместо 71.1 по наблюдениям, т. е. первое значение составляло всего $^4/_5$ от истинного. Однако можно заметить, что принятый закон тем ближе подходит к действительности, чем толще трос, т. е. чем последний толще, тем больше он приближается к упругому телу, и именно в совершенно намокшем состоянии, к которому только и относятся наши опыты.



Фиг. 7.

Таким образом, расчет удлинения троса для вышеприведенного ряда наблюдений (стр. 47) производится следующим простым способом.

В качестве постоянно действующего груза принимается: 1) вес прибора в воде, равный 45 фунтам 9.5 унции; 2) из этой величины надлежит вычесть 8 фунтов, которыми трос натягивается при отмеривании туазов, так как эти 8 фунтов из общего веса прибора должны служить для того, чтобы привести отмеренные части троса к той истинной длине, которую они имели при измерении по масштабу; 3) к полученному результату следует прибавить вес 19 туазов толстого троса, который был привязан в самом низу, для того чтобы при вытаскивании на поверхность наполненного водой прибора трос имел достаточную прочность и мог его выдержать. Вес этих

19 туазов в воде составляет 1 фунт. Таким образом, весь постоянный груз составит 38 фунтов $9^1/_2$ унции, или 38.8 фунта. К этой величине, как это было сказано выше, надлежит еще каждый раз добавлять половину веса спущенного троса, исходя из расчета, что вес 1 туаза нашего троса в воде составляет 0.05082 фунта. В нашей таблице надлежит сперва из приведенных там глубин в туазах вычесть 19 туазов, падающих на долю толстого троса, величиной удлинения которого, ввиду ее незначительности, можно пренебречь, и затем вычислить растяжение для остальной длины. Обозначим уменьшенную на 19 туазов длину спущенного троса через n, а весь подвешенный груз, включая и половину веса троса, через N; тогда, для длины в 3 фута грузу N соответствует удлинение, вычисляемое из пропорции

$$108.78 : N = 3 : x,$$

откуда удлинение в дюймах $x = \frac{3 \cdot N}{108.78}$, так что для 1 туаза удлинение будет $\frac{6}{108.78}$ и, следовательно, для n туазов $\frac{6 \cdot N \cdot n}{108.78}$ дюймов, или $\frac{N \cdot n}{108.78 \cdot 12}$ туазов. Следовательно, полная длина опущенного троса будет $n + 19 + \frac{N \cdot n}{108.78 \cdot 12}$, все в туазах.

Нам остается еще определить поправку к глубине на угол, который трос составляет с вертикалью перед самым подъемом с наибольшей глубины; мы говорим кратко: „перед самым подъемом“, так как затем прибор еще раз немного приподнимается и затем вновь опускается для того, чтобы он в последний момент вновь мог заполниться водой с данной глубины. Этот угол мог быть определен только наглаз; поэтому для достижения возможно большей точности в определении его принимали на корабле участие несколько человек, и из всех полученных определений бралось среднее значение. Впрочем, результаты таких оценок отличались друг от друга не больше чем на 5°; поэтому можно принять, что среднее значение не отличается от истинного больше чем на $2^1/_2$°. Направление

троса в воде следует принять за прямую, так как кривая, которую оно, возможно, образует, не поддается вычислению, поскольку корабль не имел какого-либо определенного движения вперед, а перемещался то туда, то сюда под действием волн; поэтому и угол то увеличивался, то уменьшался, переходя даже часто на противоположную сторону вертикали, и кривая линия получалась бы неизбежно очень изменчивой.*

---

* Примем направление троса в воде за прямую и вычислим угол α для определенной скорости корабля v, и, наоборот, для определенного значения α необходимую скорость v.

Отметим сперва, что безразлично, будет ли вода находиться в покое, а корабль двигаться, или корабль будет стоять на месте, а вода всей массой с той же скоростью перемещаться в обратном направлении. Представим себе, что трос с привязанным к нему прибором висит в неподвижной точке в потоке воды, протекающей со скоростью v; и предположим, что трос представляет собой прямую линию, образующую с вертикалью произвольный угол. На фиг. 7 AF означает направление троса с подвешенным прибором, а AG — вертикаль. Вода двигается в направлении KC. Рассмотрим точку троса на длине C, на которую вода попадает в направлении KC, и примем BC за выражение скорости последней; скорость BC можно разложить на две взаимно перпендикулярные составляющие CD и CL; CD не оказывает действия, и остается только CL — действие воды на трос в направлении, перпендикулярном к последнему;

$$CL = CB \cdot \cos BCL = CB \cdot \cos CAB,$$

или, по нашим прежним обозначениям,

$$CB = v \cdot \cos\alpha;$$

с этой скоростью вода действует на трос в направлении, перпендикулярном ему, в каждой его точке.

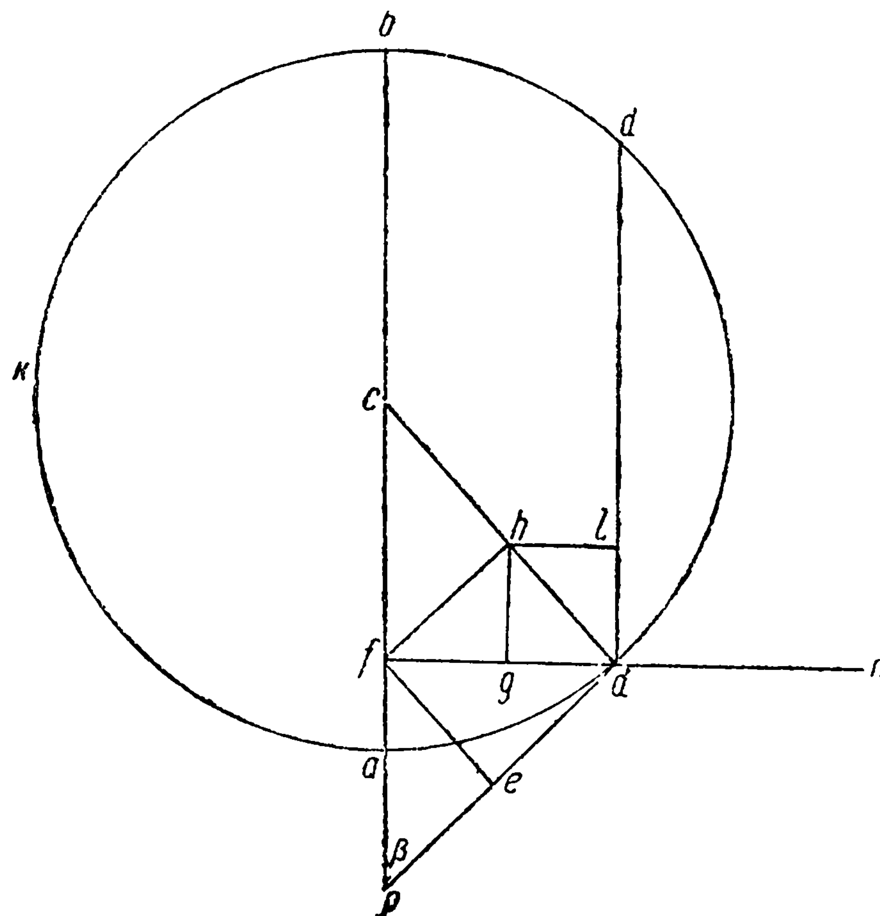
Теперь представим себе, что на фиг. 8 $bkad$ — поперечное сечение троса, в плоскости которого действует определенная выше скорость воды $v \cdot \cos\alpha$, и рассмотрим это действие в некоторой произвольно выбранной точке периферии d В этой точке действует поток со скоростью $v \cdot \cos\alpha$, представленной отрезком fd, в направлении nd. Раскладываем fd на две взаимно перпендикулярные составляющие — de и hd, где hd — направление радиуса, а de — направление касательной; действует только первое, de отпадает; но $hd = df \cos hdf = df \cdot \cos cpd = v \cdot \cos\alpha \cdot \cos\beta$, если обозначить угол cpd через β; hd в свою очередь раскладывается по взаимно перпендикулярным направлениям dl и dg, причем dl в каждой точке пери-

Если мы, таким образом, примем направление троса за прямую, то поправка найдется очень легко; нужно величину опущенной длины умножить на cos угла (который мы назовем α), и это даст истинную глубину в туазах:

$$\left(n + 19 + \frac{N \cdot n}{108.78 \cdot 12}\right) \cos \alpha.$$

ферии уничтожится равной по величине и обратной по направлению скоростью в точке d', где подразумевается точно такое же разложение сил, и остается только dg, как значение скорости, с которой точка d' в действительности будет увлекаться в направлении df; но

$$dg = hd \cos \beta = v \cdot \cos \alpha \cdot \cos^2 \beta.$$



Фиг. 8.

Если теперь мы обозначим в нашем круговом сечении абсциссу $af = x$ и ординату $fd = y$, то для tang β получим известное выражение $\frac{dy}{dx}$, так что

$$\frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \frac{dy}{dx} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \beta}}{\cos \beta} \text{ и } \frac{dy^2}{dx^2} = \frac{1 - \cos^2 \beta}{\cos^2 \beta},$$

откуда

$$\cos^2 \beta = \frac{dx^2}{dy^2 + dx^2}.$$

Чтобы достичь возможно большей точности, мы должны учесть еще одно обстоятельство или, по крайней мере, показать, что возникающая из него ошибка незначительна. А именно возникает вопрос: насколько глубоко должен быть погружен

Итак, для точки периферии с абсциссой x действие потока $= v \cdot \cos\alpha \dfrac{dx^2}{dy^2 + dx^2}$.

Бесконечно малый отрезок дуги, которому соответствует отрезок абсциссы dx, будет $\sqrt{dx^2 + dy^2}$, и полное воздействие потока на дугу, соответствующую отрезку абсциссы dx, будет [5]

$$v \cdot \cos\alpha = \frac{dx^2 \sqrt{dx^2 + dy^2}}{dy^2 + dx^2} = v \cdot \cos\alpha \frac{dx^2}{\sqrt{dy^2 + dx^2}}.$$

Уравнение окружности, если начало координат лежит на периферии, будет $y = \sqrt{2rx - x^2}$; следовательно,

$$dy = \frac{(r - x)\,dx}{\sqrt{2rx - x^2}} \quad \text{и} \quad dy^2 = \frac{(r - x)^2\,dx^2}{2rx - x^2}.$$

Если вставить это значение в вышеприведенную формулу, то получим значение скорости на дуге с абсциссой $dx =$

$$= v \cdot \cos\alpha \frac{dx^2}{\sqrt{\left(\frac{(r-x)^2}{2rx - x^2} + 1\right) dx^2}} = \frac{dx^2}{\sqrt{\frac{r^2 - 2rx + x^2 + rx - x^2}{2rx - x^2}}\, dx}$$

и после сокращения получим выражение

$$\frac{v \cdot \cos\alpha}{r} \sqrt{2rx - x^2}\,dx.$$

Это выражение нужно проинтегрировать в пределах от $x = 0$ до $x = r$; тогда мы получим действие на половину поперечного сечения, а будучи удвоено, оно представит действие на все сечение троса. Интегрирование для абсциссы x дает следующее выражение:

$$\frac{v \cdot \cos\alpha}{r} \left(\frac{x - r}{2} \cdot \sqrt{2rx - x^2} + \arcsin \sqrt{\frac{2rx - x^2}{r}} + C\right).$$

Из условия, что при $x = 0$, действие тоже равно 0, вытекает, что постоянная $C = 0$, и получается полный интеграл

$$\frac{v \cdot \cos\alpha}{r} \left(\frac{x - r}{2} \cdot \sqrt{2rx - x^2} + \frac{r^2}{2} \arcsin \frac{\sqrt{2rx - x^2}}{r}\right);$$

прибор для того, чтобы содержащаяся в нем вода полностью сменилась? — Ответ легко получить помощью следующего расчета. Обозначим через a радиус внутренней камеры прибора, через h — ее высоту, через r — нижний радиус нижнего

следовательно, при $x = r$ половина действия на поперечное сечение равна $v \cdot \cos\alpha \frac{r\pi}{4}$, а полное действие равно $v \cdot \cos\alpha \frac{r\pi}{2}$. Так как $\frac{r\pi}{2}$ есть дуга четверти окружности, то последнее выражение показывает, что действие скорости потока $v \cdot \cos\alpha$ на дугу полуокружности равно действию этой скорости на прямую, стоящую перпендикулярно потоку и равную по длине четверти окружности.

Соответствующее этой скорости давление будет $\frac{v^2 \cdot \cos^2\alpha}{2g}$, где g обозначает пространство, пройденное равномерно во вторую секунду со скоростью в конце первой секунды свободного падения, так что действие на поперечное сечение троса равно давлению воды

$$\frac{v^2 \cdot \cos^2\alpha}{2g} \cdot \frac{r\pi}{2} = \frac{v^2 \cdot \cos^2\alpha \cdot r\pi}{4g},$$

а на весь трос длины a давление будет равно

$$\frac{v^2 \cdot \cos^2\alpha \cdot r\pi}{4g} \cdot a = M.$$

На подвешенный внизу цилиндрический прибор действует точно так же давление воды $\frac{v^2 \cdot \cos\alpha \cdot \rho\pi}{4g} \cdot b = N$ [6], если ρ — радиус поперечного сечения и b — его высота.

Обе эти силы можно представить соединенными в центре тяжести, который для троса находится на расстоянии $\frac{a}{2}$ от поверхности, а для прибора — на расстоянии a, так как половиной высоты прибора по сравнению с длиной троса можно пренебречь; поэтому, если обозначить расстояние до центра тяжести всей системы через x, то

$$\frac{Ma}{2} + Na = (M + N)\, x,$$

откуда

$$x = \frac{M + 2N}{2(M + N)} \cdot a.$$

клапана; высоту, на которую он приподнимается, — через m. Длина окружности нижней стенки нижнего клапана равна $2r\pi$; площадь наименьшего отверстия, через которое должна протечь вода, следовательно, равна $2r\pi m$. Через это отверстие

Если вместо M и N вставить их значения, то

$$x = \frac{\frac{v^2 \cdot \cos^2\alpha \cdot \pi}{2g}\left(\frac{ra}{2} + \rho b\right) a}{\frac{v^2 \cdot \cos^2\alpha \cdot \pi}{2g}(ra + \rho b)} = \frac{ra + 2rb}{2(ra + \rho b)} \cdot a.$$

Составляющая веса троса по направлению, перпендикулярному к направлению троса, т. е. противоположно действию потока, равна $r^2\pi \cdot a(m - 1)\sin\alpha$, где m — вес троса в морской воде. Точно так же находится соответствующая составляющая веса прибора $\rho^2\pi \cdot b(n - 1)\sin\alpha$, где n — удельный вес прибора.

Обе эти составляющие также нужно представить себе действующими совместно в их общем центре тяжести, расстояние которого от точки подвеса находится так же, как ранее потока:

$$x = \frac{\sin\alpha \cdot \pi\,[r^2 a(m - 1) + 2\rho^2 b(n - 1)]\,a}{2\sin\alpha \cdot \pi\,[r^2 a(m - 1) + \rho^2 b(n - 1)]} =$$

$$= \frac{r^2 a(m - 1) + 2\rho^2 b(n - 1)}{2[r^2 a(m - 1) + \rho^2 b(n - 1)]} \cdot a.$$

Сумма сил, действующих со стороны потока на трос и прибор, помноженная на расстояние до их центра тяжести, должна быть равна сумме весов троса и прибора, помноженной на расстояние до точки приложения их равнодействующей (обе силы спроектированы на направление, перпендикулярное тросу); имеем поэтому

$$\frac{v^2 \cdot \cos^2\alpha \cdot \pi}{4g} \cdot \frac{(ra + \rho b)\,(ra + 2\rho b) \cdot a}{2(ra + \rho b)} =$$

$$= \pi \cdot \sin\alpha\,\frac{[r^2 a(m - 1) + \rho^2 b(n - 1)]\,[r^2 a(m - 1) + 2\rho^2 b(n - 1)]\,a}{2[r^2 a(m - 1) + \rho^2 b(n - 1)]}$$

и, после соответствующего сокращения,

$$\frac{v^2 \cdot \cos^2\alpha}{4g}(ra + 2\rho b) = \sin\alpha\,[r^2 a(m - 1) + 2\rho^2 b(n - 1)],$$

должен будет вытечь весь объем воды, содержащейся в приборе. Этот объем равен $a^2 \pi h$; спрашивается, на какую глубину должен быть погружен прибор для того, чтобы через поверхность $2 r \pi m$ вытекло такое количество воды? Обозначим эту глубину через x. Тогда будем иметь уравнение

$$2 r \pi m x = a^2 \pi h,$$

откуда

$$x = \frac{a^2 \pi h}{2 r \pi m} = \frac{a^2 h}{2 rm}.$$

следовательно,

$$v^2 = 4g \cdot \sin \alpha \, \frac{r^2 a (m-1) + 2\rho^2 b (n-1)}{\cos^2 \alpha \, (ra + 2\rho b)}.$$

Берем в качестве примера один из наших случаев $\alpha = 25°$, $g = 30.2$, $r = 0.009$, $\rho = 0.508$, $a = 6150$, $b = 1.75$, $m = 1.33$, $n = 2.17$ (все величины в парижских футах).

Тогда по нашей формуле

$$v^2 = \frac{120.8 \cdot 0.4226 (0.000081 \cdot 6150 \cdot 0.33 + 2 \cdot 0.2581 \cdot 1.75 \cdot 1.17)}{0.8214 (0.009 \cdot 6150 + 2 \cdot 0.508 \cdot 1.75)} =$$

$$= \frac{61.348}{46.925} = 1.3074$$

и $v = 1.14$ фута в секунду.

Если же известна скорость и нужно найти угол, то из вышеуказанной формулы находят значения $\sin \alpha$ или $\cos \alpha$. Мы найдем, таким образом,

$$\sin \alpha = \sqrt{v^2 + \frac{4g^2 \cdot [r^2 a (m-1) + 2\rho^2 b (n-1)]^2}{(ra + 2\rho b)^2}} -$$

$$- 2g \cdot \frac{r^2 a (m-1) + 2\rho^2 b (n-1)}{ra + 2\rho b}.$$

Рассматриваемый здесь случай, собственно, относится к случаю круглого стержня с укрепленным на нем в направлении его длины цилиндром, который при соответствующих практических приспособлениях мог бы, пожалуй, быть применен в качестве измерителя скорости потока. Наш частный случай, с тросом и батометром, мною разобран подробно в приложении к этой статье.

Для нашего прибора, считая в английских дюймах:

$$a=5.7;\quad h=16.48;\quad r=2.6;\quad m=1.72,$$

и по нашей общей формуле получим

$$x=\frac{32.49\cdot 16.48}{52\cdot 1.72}=\frac{535.43}{8.94}=59.9.$$

Если отбросить, как незначительную, величину $^1/_{10}$ дюйма, то получим, что наш прибор для того, чтобы полностью сменить воду, необходимо погрузить на 5 англ. футов = 4.7 парижск. фута. Поскольку же высота прибора от нижнего клапана до дужки, равная 3 футам, в указанную длину троса не входила, то прибор сам по себе уже погружается на эту величину глубже, чем было указано, и, таким образом, для того чтобы полностью сменить в нем воду, его необходимо погрузить всего лишь еще на 1.7 фута; но этой величиной в наших опытах можно вполне пренебречь, так как вследствие волнения на поверхности моря последнее деление то показывается, то исчезает под водой, и расхождение получается больше, нежели эта величина.

Из вышесказанного видно, как нужно вводить поправку для глубин; в заключение, в качестве образца для всех остальных, рассчитаем один конкретный случай.

31 августа 1825 г. проводится 4-й опыт на глубине 460 + 19 туазов при угле в 25°, так что $N=38.8$ фунта + 11.7 фунта = 50.5 фунта; далее, $n=460$, $\cos\alpha=\cos 25°=0.9063$. Следовательно, достигнутая в действительности глубина будет равна

$$\left(460+19+\frac{50.5\cdot 460}{108.78\cdot 12}\right)0.9063=450.2 \text{ туаза.}$$

Таким же образом исправлены и остальные глубины, за исключением результатов первого опыта на 500 туазов, поправка которых выведена из других, произведенных в Дерпте, опытов по растяжению троса № 1; приводить последние здесь было бы излишне, в особенности, поскольку этот опыт был

единичным. Поправка дает 39 туазов, и истинная глубина, следовательно, равна 539 туазам.

Переходим теперь к самой важной поправке, а именно, к поправке на постепенное нагревание вытаскиваемой вверх воды за время прохождения прибора через более теплые верхние слои. Для этого мы воспользуемся приведенной у Био (Biot. Traité de physique, t. IV, стр. 620) формулой для охлаждения или нагревания тела в окружающей среде, имеющей температуру более низкую или более высокую, нежели самое тело. Эта формула имеет следующий вид:

$$\log T = \log T_0 - at. \qquad \text{(A)}$$

T обозначает разность температур окружающей среды и нагревающегося или охлаждающегося тела после нахождения последнего в этой среде в продолжение определенного времени t; T_0 представляет ту же разность до начала опыта, a — коэффициент, зависящий от теплопроводности среды; этот коэффициент должен быть определен опытным путем. У Био он пишется $\frac{M}{a}$ (где M — модуль обыкновенных логарифмических таблиц); однако поскольку он определяется опытом, можно его обозначить одной буквой, причем уже будет учтен результат деления на M.

Поскольку в наших опытах на море нагревающееся тело не висит спокойно в нагревающей среде, а с большей или меньшей скоростью движется в этой среде, и так как движущееся в воде тело нагревается быстрее, чем находящееся в покое, то очевидно, что коэффициент a меняется с изменением скорости подъема, т. е. является функцией этой скорости c; поэтому представим коэффициент a в общем виде:

$$a = \alpha + bc + dc^2 + fc^3 \ldots$$

Если ограничиться третьей степенью c, то для определения коэффициентов a, b, d и f нужны 4 опыта. Для $c = 0$ в нашей формуле $a = \alpha$; если мы проделали раз опыт в стоячей воде

с неподвижно подвешенным в ней прибором и определили коэффициент по нашей формуле (A), то он будет равен α; поэтому можно принять α за известную величину, и для определения 3 остальных коэффициентов будет достаточно проделать 3 опыта при различных скоростях. Если обозначить найденные по формуле (A) коэффициенты a', a'' и a''' и соответствующие скорости c', c'' и c''', то имеем

$$a' = \alpha + bc' + dc'^2 + fc'^3,$$

$$a'' = \alpha + bc'' + dc''^2 + fc''^3,$$

$$a''' = \alpha + bc''' + dc'''^2 + fc'''^3,$$

и если, поскольку α известно, обозначить для краткости

$$a' - \alpha = \beta; \quad a'' - \alpha = \gamma \quad \text{и} \quad a''' - \alpha = \zeta,$$

то вышеприведенные уравнения преобразуются в следующие:

$$\beta = bc' + dc'^2 + fc'^3,$$

$$\gamma = bc'' + dc''^2 + fc''^3,$$

$$\zeta = bc''' + dc'''^2 + fc'''^3,$$

откуда коэффициенты выразятся:

$$b = \frac{\beta \cdot c''^2 \cdot c'''^2 (c''' - c'') + \gamma \cdot c'^2 c'''^2 (c' - c''') + \zeta c'^2 c''^2 (c'' - c')}{c' \cdot c'' \cdot c''' (c' - c'') (c''' - c'') (c''' - c')},$$

$$d = \frac{\beta \cdot c'' \cdot c''' (c''^2 - c'''^2) + \gamma c' \cdot c''' (c'''^2 - c'^2) + \zeta c'' c' (c'^2 - c''^2)}{c' \cdot c'' \cdot c''' (c' - c'') (c'' - c''') (c''' - c')},$$

$$f = \frac{\beta \cdot c'' \cdot c''' (c'' - c''') + \gamma c' \cdot c''' (c''' - c') + \zeta \cdot c'' c' (c' - c'')}{c' \cdot c'' \cdot c''' (c' - c'') (c'' - c''') (c' - c''')}.$$

Сначала необходимо было определить α. С этой целью в пруде 1-го Кадетского корпуса было проделано 2 опыта: зимой во льду было прорублено отверстие около 3 футов в квадрате; в воде на глубине, где подвешивался прибор, т. е. около $1^1/_2$ фута от поверхности, температура была 0°,7. В эту воду был погружен прибор, наполненный более теплой водой,

а через определенное, точно измеренное время он был извлечен из воды. Результаты опыта оказались следующими:

1. Прибор опущен с водой, темп. = 9°4, в 11 ч. $23\frac{1}{4}$ м.		Температура окружающей воды +0°7.
„ извлечен из воды „ = 8.1, в 12 „ $14\frac{1}{4}$ „		
Следовательно, охлаждение = 1°3 за 0 ч. 51 м.		

Таким образом, в нашей общей формуле (A) мы имеем:

$T_0 = 8.7$; $T = 7.4$; $t = 51$ и коэффициент $a = 0.001378$.

2. Прибор опущен с водой, темп. = 17°5, в 12 ч. 42 м.		Температура окружающей воды +0°7.
„ извлечен из воды „ = 13.8, в 1 „ 36 „		
Следовательно, охлаждение = 3°25 за 0 ч. 51 м.		

Здесь $T_0 = 16.35$; $T = 13.1$; $t = 51$ и коэффициент нашей формулы $a = 0.001861$.

Если взять среднее из значений этих двух коэффициентов, то оно будет 0.001623, и если по нему вычислить оба наших опыта, то в первом опыте нагревание будет 1°507 вместо 1°3, а во втором 2°84 вместо 3°25, так что ошибки получаются 0°207 и 0°41; эту ошибку для такого рода опытов нельзя считать чрезмерно высокой. Для значения коэффициентов мы имеем, следовательно, известное $\alpha = 0.001623$ (стр. 59—60).

Так как для остальных опытов мы не могли иметь той значительной глубины, как при опытах в открытом море, то они были несколько изменены: прибор висел в воде, которая протекала мимо него с различной скоростью, причем он висел в лежачем положении, верхним концом против течения, и поэтому обтекался сверху донизу точно так же, как в море при подъеме. Очевидно, совершенно безразлично, стоит ли прибор на месте и вода движется или, наоборот, вода находится в покое, а прибор движется в ней с той же скоростью. Главное, что играет здесь роль, это более или менее быстрая

смена слоев, нагретых от соприкосновения с прибором, свежими, еще не нагретыми, а эта смена в обоих случаях одинакова. Далее, поскольку вода в реке имеет и без того низкую температуру и поэтому трудно, даже невозможно, наполнить прибор значительно более холодной водой, мы наполнили прибор более теплой водой и охлаждали его в более холодной реке, тогда как в море он при подъеме нагревается. Результаты в обоих случаях, все равно, должны быть одинаковы.

Чтобы получить требуемые разности скоростей, опыты производились на середине Невы, затем вблизи берега, и, наконец, третий опыт был произведен зимой в прорубленном во льду канале; в этом случае течение еще значительно ослаблялось вследствие трения о лед. Для определения скорости течения служил изготовленный из елового дерева четырехгранный поплавок сечением 2 дюйма в квадрате, длиной в 2 фута 10 дюймов, утяжеленный внизу свинцом, так что он плавал вертикально, возвышаясь над поверхностью на 5.5 дюйма. Погруженная в воду часть поплавка, следовательно, имела длину 2 фута 4.5 дюйма. Пуская поплавок по течению и наблюдая время, за которое он проплывал определенный участок, можно было получить среднее значение скорости на глубине 2 футов 4.5 дюймов. По середине этого потока, т. е. на глубине 1 фута 25 дюйма, находилась ось прибора. При опытах во льду прибор висел в лежачем положении на двух штангах, положенных поперек канала. При опытах же в открытой Неве эти штанги выставлялись с борта большой лодки примерно на сажень, и батометр висел на их концах. Сама лодка стояла на якоре на определенном расстоянии от берега, а проходимый поплавком участок измерялся шнуром, который, будучи поддерживаем на поверхности привязанными к нему палочками, благодаря течению вытягивался в прямую линию. Другой конец шнура был прикреплен ко второй, маленькой лодке, способствовавшей натяжению шнура, и в ней находился второй наблюдатель. Шнур был измерен между двумя вехами.

Наблюдатель, находившийся в стоящей вверху лодке, наблюдал прохождение поплавка у первой вехи, а находившийся в другой лодке наблюдал прохождение его у второй вехи; таким образом определялась скорость. На льду определение пройденного расстояния производилось измерением мерной цепью у самого края канала. Приведенные далее значения скорости течения являются всегда средними из 5—8 опытов. К сожалению, скорость течения даже в середине Невы была немногим больше 2 футов в секунду, и нам пришлось ограничиться этим значением как максимальным.

Произведенные опыты были следующие:

При скорости течения подо льдом = 0.268 парижск. фута в секунду:

1. Прибор опущен с водой, темп. = 9° } Продолжительность опыта 0 ч. 51 м.
   „ извлечен из воды „ = 6.5 } Температура окружающей воды −0°.15.

Следовательно, охлаждение = 2°.5.

2. Прибор опущен с водой, темп. = 16°.2 } Продолжительность опыта 0 ч. 53 м.
   „ извлечен из воды „ = 11.3 } Температура окружающей воды −0°.15.

Следовательно, охлаждение = 4°.90.

Таким образом, для этого опыта:

1. $T_0 = 9.15$; $T = 6.65$; $t = 51$; следовательно, коэффициент $a = 0.0027176$.
2. $T_0 = 16.25$; $T = 11.45$; $t = 53$; следовательно, коэффициент $a = 0.0029196$.

Следовательно, при скорости, равной 0.268 фута, среднее значение коэффициента равно 0.0028186; отсюда для данного опыта:

1. Вычисленное охлаждение = 2°.58; наблюденное = 2°.5; разность = + 0°.08.
2. Вычисленное охлаждение = 4°.76; наблюденное = 4°.9; разность = − 0°.14.

При скорости течения у берега = 1.245 парижск. фута в секунду:

1. Прибор опущен с водой, темп. = 28°.9 „ извлечен из воды „ = 23.0	Продолжительность опыта 0 ч. 50 м. Температура окружающей воды 12°.8.

Следовательно, охлаждение = 5°.9.

2. Прибор опущен с водой, темп. = 21°.8 „ извлечен из воды „ = 18.7	Продолжительность опыта 0 ч. 50 м. Температура окружающей воды 12°.85.

Следовательно, охлаждение = 3°.1.

Таким образом, мы имеем из опытов:

1. $T_0 = 16.1$; $T = 10.2$; $t = 50$; следовательно, коэффициент $a = 0.003887$.
2. $T_0 = 8.95$; $T = 5.85$; $t = 50$; следовательно, коэффициент $a = 0.003693$.

Следовательно, для скорости 1.245 фута, среднее значение коэффициента $a = 0.003790$; отсюда для опыта:

1. Вычисленное охлаждение = 5°.78; наблюденное = 5°.9; разность = — 0°.12.
2. Вычисленное охлаждение = 3°.29; наблюденное = 3°.1; разность = + 0°.19.

При скорости течения = 2.004 парижск. фута в секунду на середине Невы:

1. Прибор опущен с водой, темп. = 28°.7 „ извлечен из воды „ = 22.9	Продолжительность опыта 0 ч. 51 м. Температура окружающей воды 12°.4.

Следовательно, охлаждение = 5°.8.

2. Прибор опущен с водой, темп. = 21°.7 „ извлечен из воды „ = 18.45	Продолжительность опыта 0 ч. 51 м. Температура окружающей воды 12°.8.

Следовательно, охлаждение = 3°.25.

Так что из опытов имеем:

1. $T_0 = 16.3$; $T = 10.5$; $t = 51$; следовательно, коэффициент $a = 0.003745$.
2. $T_0 = 8.9$; $T = 5.65$; $t = 51$; следовательно, коэффициент $a = 0.003869$.

Следовательно, при скорости $= 2.004$ фута среднее значение коэффициента $a = 0.003807$; отсюда для опыта:

1. Вычисленное охлаждение $= 5^\circ.88$; наблюденное $= 5^\circ.8$; разность $= + 0^\circ.08$.
2. Вычисленное охлаждение $= 3^\circ.21$; наблюденное $= 3^\circ.25$; разность $= - 0^\circ.04$.

Рассмотрим, прежде всего, в какой мере эти опыты подтверждают пригодность нашей общей формулы

$$\log T = \log T_0 - at$$

для различных начальных температур T_0; мы увидим, принимая за истинное найденное среднее значение коэффициентов, что наибольшая разность между вычисленным и непосредственным наблюденным охлаждением будет

Для	стоячей	воды $= 0.41$,
„	скорости	$0'.268 = 0.14$,
„	„	$1'.245 = 0.19$,
„	„	$2'.004 = 0.08$.

Мы видим, что для случаев движущейся воды наша формула хорошо применима, поскольку имеющие место разности при такого рода опытах могут по праву считаться за ошибки наблюдения; и только для стоячей воды разность между вычислением и наблюдением оказывается довольно значительной. К счастью, как мы это в дальнейшем увидим, она не оказывает влияния на наши опыты.

Сопоставив различные коэффициенты, получим следующую сравнительную таблицу

Для стоячей воды		коэффициент	= 0.001623	Разность	0.001196
„ течения со скоростью	0.268 фута	„	= 0.002819		
„ „ „ „	1.245 „	„	= 0.003790	„	0.000971
„ „ „ „	2.004 „	„	= 0.003807	„	0.000017

Подставив эти значения в нашу формулу (стр. 60) для определения коэффициентов b, d и f нашей формулы для коэффициента $a = \alpha + bc + dc^2 + fc^3$ (стр. 59), получим:

$$\alpha = +0.001623, \qquad d = -0.0044675,$$
$$b = +0.0055803, \qquad f = +0.0011110,$$

и наша формула получит вид:

$$\ldots\ a = 0.001623 + 0.0055803\,c - 0.0044675\,c^2 + 0.0011110\,c^3.$$

Эта формула, однако, справедлива лишь для скоростей, лежащих в пределах между 0 и 2 футами; на Неве мы не могли получить бо́льших скоростей. При наших опытах на море скорость подъема прибора была всегда больше 2 футов, даже по большей части больше 3 футов. Для скорости в 3 фута наша формула дала бы $a = 0.008154$, что явно слишком велико; поэтому в наших опытах мы воспользоваться этой формулой не можем.

К счастью, из приведенной выше таблицы найденных значений коэффициентов явствует, что для обработки данных наших опытов такая формула вовсе не нужна, ибо мы видим из таблицы, что разница между коэффициентами для скоростей 1.245 фута и 2.004 фута настолько незначительна (всего 0.000017), что она с полным правом может быть рассматриваема как ошибка наблюдений. Эта разница соответствует разности охлаждения термометра на 0°.01, т. е. величине, которую нельзя различать наглаз при применявшихся нами термометрах.

Коэффициент же для скоростей от 1.245 до 2.004 фута не меняется или меняется на неопределимо малую величину. Тем более это будет иметь место и при скоростях от 2 до 3

футов и от 3 до 4 футов; мы, таким образом, вывели опытным путем положение, что входящий в нашу общую формулу (А) коэффициент a для всех скоростей потока свыше 1.245 фута следует считать одинаковым. Поскольку в наших опытах на море скорость подъема была всегда большей, чем $2'$ в секунду, то наш коэффициент, рассматриваемый как функция скорости, остается постоянным.

Нам еще остается исследовать нашу формулу (А) в отношении времени t. Для этой цели прибор был снова заполнен в Неве более теплой водой и опущен в охлаждающее течение, где оставался, при, примерно, равных начальных температурных разностях T_0, различно долгое время. При температуре окружающей воды $= 11°.3$ были получены следующие результаты:

Для продолжительности	10	минут	$T_0 = 13.29$	и	$T = 11.89$
	20	„	$T_0 = 13.45$	„	$T = 11.00$
	30	„	$T_0 = 13.\ 4$	„	$T = 10.15$
	40	„	$T_0 = 12.76$	„	$T = 8.96$
	50	„	$T_0 = 13.43$	„	$T = 8.63$
	60	„	$T_0 = 13.78$	„	$T = 7.83$

Вычисляя отсюда коэффициент a, получим:

Для продолжительности	10	минут	$a = 0.004834$
	20	„	$a = 0.004356$
	30	„	$a = 0.004021$
	40	„	$a = 0.003838$
	50	„	$a = 0.003841$
	60	„	$a = 0.003824$

Из этих данных видно, что коэффициент a в зависимости от времени нагревания безусловно изменяется и что наша формула

$$\log T_0 = \log T - at$$

не может быть применена к исправлению наших опытов без дальнейшего исследования. Поскольку a меняется с t, т. е.

является функцией t, то мы попробовали сперва подставить вместо a выражение $\alpha + bt$ и нашли по методу наименьших квадратов коэффициенты α и b

$$a = 0.004775 - 0.0000168\ t;$$

отклонения вычисленных данных от наблюдаемых (когда данные наблюдения больше вычисленных, отклонения имеют знак „+", в обратном случае знак „—") получились следующие:

Для 10	минут	отклонения	= —0.000227,	квадрат	отклонения	= 51529
„ 20	„	„	= +0.000073,	„	„	= 5329
„ 30	„	„	= +0.000196,	„	„	= 38416
„ 40	„	„	= +0.000181,	„	„	= 32761
„ 50	„	„	= —0.000014,	„	„	= 196
„ 60	„	„	= —0.000192,	„	„	= 31864

(отбрасывая нули)

Следовательно, сумма квадратов ошибок = 165095

Поскольку эта формула дает еще слишком большие отклонения вычислений от наблюдений, мы попробовали получить $a = \alpha + bt + ct^2$, и, применяя опять метод наименьшей суммы квадратов, получили

$$a = 0.0033667 + 0.000088159 \cdot t - 0.000001538 \cdot t^2.$$

Отсюда находятся отклонения вычисленных значений от наблюденных, при том же условии относительно знаков:

Для 10	минут	отклонения	= —0.000650,	квадрат	отклонений	= 422500
„ 20	„	„	= +0.000129,	„	„	= 16641
„ 30	„	„	= +0.000535,	„	„	= 286225
„ 40	„	„	= +0.000531,	„	„	= 281961
„ 50	„	„	= +0.000071,	„	„	= 5041
„ 60	„	„	= —0.000615,	„	„	= 378225

Сумма квадратов = 1390593

Здесь сумма квадратов ошибок еще во много раз больше чем для формулы $a = \alpha + bt$; следовательно, по формуле $a = \alpha + bt + ct^2$ точно определить закон убывания коэффици-

ента с увеличением времени мы не можем. Но, каков бы ни был этот закон, мы сделаем лишь очень незначительную ошибку, если на протяжении каждых 10° будем производить интерполяцию по формуле $a = \alpha + bt$, причем коэффициенты α и b для каждых промежутков определяются особо, например между 10 и 20° — из наблюдений при 10 и 20°, между 20 и 30° — из наблюдений при 20 и 30° и т. д. Далее, наблюдения при 50 минутах, вероятно, содержат в себе небольшую ошибку, поскольку они дают коэффициент бо́льший, чем при 40 минутах. Такая ошибка на самом деле очень возможна, так как при $T_0 = 20°$ и $t = 50$ минутам ошибка в 5-м десятичном знаке, равная единице, соответствует ошибке в наблюдаемом охлаждении, равной 0.015. Поэтому мы отбрасываем наблюдения при 50 минутах и интерполируем между 40 и 60 минутами.

Таким образом, имеем интерполяционные формулы

Между	0 и	20	минутами	. . .	$a = 0.005302 - 0.0000468 \cdot t$
„	20 „	30	„	. . .	$a = 0.005056 - 0.0000345 \cdot t$
„	30 „	40	„	. . .	$a = 0.004570 - 0.0000183 \cdot t$
„	40 „	60	„	. . .	$a = 0.003866 - 0.0000007 \cdot t$

Вычисленные по этим формулам данные приведены в таблице на стр. 70.

Из этой таблицы мы видим, что коэффициент при 50 минутах равен 0.003831, вместо найденного ранее для скорости течения свыше 1.2 фута = 0.00380, т. е. на 0.000031 меньше. Но поскольку при опытах, из которых составлена указанная таблица (стр. 67), скорость течения также превышала 1.2 фута, то спрашивается, которое из этих определений более правильно. Мы отдаем предпочтение последнему, поскольку опыты, на основании которых оно выведено, производились на плоту, тогда как первые опыты, как уже упомянуто, делались с лодки; вытаскивание с плота может осуществляться более точно, а также здесь отсутствовали колебания (вверх — вниз); оба эти момента полностью объясняют малое различие охлаждения

t	a	t	a	t	a	t	a
1	0.005255	16	0.004553	31	0.004003	46	0.003834
2	0.005209	17	0.004506	32	0.003984	47	0.003833
3	0.005162	18	0.004460	33	0.003966	48	0.003832
4	0.005115	19	0.004413	34	0.003948	49	0.003832
5	0.005068	20	0.004366	35	0.003929	50	0.003831
6	0.005022	21	0.004331	36	0.003911	51	0.003830
7	0.004974	22	0.004297	37	0.003893	52	0.003829
8	0.004928	23	0.004262	38	0.003875	53	0.003829
9	0.004881	24	0.004228	39	0.003865	54	0.003828
10	0.004834	25	0.004193	40	0.003838	55	0.003827
11	0.004787	26	0.004159	41	0.003837	56	0.003827
12	0.004740	27	0.004121	42	0.003837	57	0.003826
13	0.004694	28	0.004090	43	0.003836	58	0.003825
14	0.004647	29	0.004055	44	0.003835	59	0.003825
15	0.004600	30	0.004021	45	0.003834	60	0.003824

в 0°.043, соответствующее различию коэффициентов в 0.00003. Таким образом, приведенная таблица дает нужный коэффициент для каждой нашей поправки.

При опытах на море наш прибор перемещался не все время в одинаковой температуре, а постепенно проходил все температуры снизу доверху. Поскольку закон уменьшения температуры моря с увеличением глубины нам неизвестен, мы принимаем это понижение для каждой серии опытов в пределах одной станции как происходящее по арифметической прогрессии и рассматриваем вопрос так, как будто бы прибор в течение подъема передвигался в воде, имеющей среднюю температуру данной станции. Если обозначить через x разность температур воды вверху и в середине станции, τ — температуру воды прибора, когда он выходит на станции наверх, ϑ — температуру моря там же наверху, то среднее значение температуры станции равно $\vartheta - x$ и после нагревания разница между темпера-

турой воды в приборе и воды, которая ее нагревает, равна $\vartheta - x - \tau$; следовательно, по нашей общей формуле (A)

$$\log(\vartheta - x - \tau) = \log x - at,$$

откуда

$$x = \frac{10^{at}(\vartheta - \tau)}{1 + 10^{at}}.$$

Значение a берется из предыдущей таблицы (стр. 70).

Для примерного расчета выберем из таблицы на стр. 40 данные опытов, произведенных 18 мая 1824 г., которые, после введения поправок на растяжение и угол отклонения троса от вертикали, примут следующий вид

Время вытягивания	Наблюдаемая температура, °С	Глубина, в туазах
0	26.4	0
6	16.7	140.7
17	5.1	413.0
32	4.9	665.1
56	4.6	914.9

Эта серия состоит из 4 станций; нагревание для каждой из них вычисляется особо.

Для первой станции коэффициент нагревания при 6 минутах из вышеприведенной таблицы (стр. 70) $a = 0.005022$. Поскольку здесь $\vartheta = 26.4$; $\tau = 16.7$; $t = 6$, указанная выше формула дает

$$x = \frac{10^{0.005022 \cdot 6}(26.4 - 16.7)}{1 + 10^{0.005022 \cdot 6}} = \frac{1.07185 \cdot 9.7}{2.07185} = 5.02.$$

Таким образом, имеем разность между температурами верха и середины станции, равную 5.02. Следовательно, поскольку мы приняли, что в пределах одной станции температура воз-

растает в арифметической прогрессии, разница температур от верха до низу равна $10^\circ.04$, и температура внизу $= 26^\circ.4 - 10^\circ.04 = 16^\circ.36$ вместо $16^\circ.7$, полученной при наблюдении. Средняя температура станции $= 21^\circ.38$.

Для второй станции, с протяжением от 140.7 до 413 туазов (она продолжалась $17 - 6 = 11$ минут), мы не можем так непосредственно применить формулу, поскольку нам неизвестна температура на верхнем пределе станции, т. е. на глубине 140.7 туаза (в нашей формуле τ). Однако мы можем ее найти, исходя из известной средней температуры первой станции $= 21^\circ.38$ и измеренной во втором опыте $= 5^\circ.1$.

По нашей основной формуле (A) имеем

$$\log(21.38 - 51) = \log(21.38 - \tau) - 0.005022 \cdot 6,$$

откуда, наконец:

$$\tau = 21.38 - 10^{0.030132} \cdot 16.28 = 3.93.$$

Итак, имеем $\vartheta = 16.36$ (согласно вычислению поправки в первой станции); $\tau = 3.93$; $t = 11$ и из нашей таблицы $a = 0.004787$; следовательно

$$x = \frac{10^{0.004787 \cdot 11} \cdot 12.43}{1 + 10^{0.004787 \cdot 11}} = \frac{1.129 \cdot 12.43}{2.129} = 6.59.$$

Таким образом, разность температур между верхним пределом и серединой станции равна $6^\circ.59$. Следовательно, разность температур на верхнем и нижнем пределе $= 13^\circ.18$, откуда температура на нижнем пределе, т. е. на глубине 413 туазов, $= 16^\circ.36 - 13^\circ.18 = 3^\circ.18$. Средняя температура станции $= 9^\circ.77$.

Третья станция захватывает глубины от 413 до 665.1 туаза, и продолжительность движения в этой станции составляет 15 минут. Мы начинаем расчет с того, что определяем, какова была температура воды в начале второй станции, если извле-

ченная наверх вода имела температуру 4°9, тем же способом, что и для второй станции, только вместо бывших там 5°1 подставляем 4°9.

Эта температура будет

$$21.38 - 16.48 \cdot 10^{0.030132} = 3.72,$$

и отсюда тем же способом определяем температуру начала третьей станции, т. е. τ, подставляя теперь уже вместо средней температуры и коэффициента первой станции среднюю температуру и коэффициент второй станции:

$$\tau = 9.77 - 6.05 \cdot 10^{0.052657} = 2.94.$$

Итак, имеем $\vartheta = 3.18$; $\tau = 2.94$; $t = 15$, и поэтому взятое из таблицы $a = 0.004600$; получаем

$$x = \frac{10^{0.004600 \cdot 15} \cdot 0.24}{1 + 10^{0.004600 \cdot 15}} = \frac{1.172 \cdot 0.24}{2.172} = 0.13.$$

Таким образом, разность температур верха и середины станции равна 0°13. Следовательно, разность температур верха и низа равна 0.°26 и температура внизу на глубине 665.1 туаза равна 3°18 — 0°26 = 2°92, при средней температуре станции = 3°05.

Для четвертой станции с 655.1 до 914.9 туаза и при продолжительности опыта = 24 минутам мы должны опять вычислять наблюдаемую температуру = 4°6, какой она была бы в начале четвертой станции, что даст нам наше τ. Находим эти значения:

Для начала второй станции $= 21.38 - 16.78 \cdot 10^{0.030132} = 3.39$

» » третьей » $= 9.77 - 6.38 \cdot 10^{0.052657} = 2.57$

» » четвертой » $= 3.05 - 0.43 \cdot 10^{0.06900} = 2.49$

Итак, имеем для нашей станции $\vartheta = 2.92$; $\tau = 2.49$; $t = 24$, и из таблицы $a = 0.004288$; получим

$$x = \frac{10^{0.004288 \cdot 24} \cdot 0.43}{1 + 10^{0.004288 \cdot 24}} = \frac{1.263 \cdot 0.43}{2.263} = 0.24.$$

Итак, разность температур середины и верха равна 0°.24; следовательно, разность температуры сверху донизу равна 0°.47, и температура внизу равна 2°.92 — 0°.48 = 2°.44.

Из вычисления этой, выбранной в качестве примера, серии ясно виден метод, примененный нами для определения поправок. Если его так же применить к остальным нашим наблюдениям, то ранее приведенная таблица (стр. 40—41) преобразуется в следующую, где опыты расположены по географической широте места:

Северная широта	Западная долгота, от Гринвича	Глубина, в туазах	Корректированная температура, °C	Примечание
7°20′	21°59′	0	25.8	Октябрь 1823 г.
		539	2.20	Атлантический океан.
21 14	196 1	0	26.40	Май 1824 г.
		140.7	16.36	Южное море.
		413.0	3.18	
		665.1	2.92	
		914.9	2.44	
25 6	156 58	0	21.50	Февраль 1825 г.
		167	14.00	Южное море.
32 6	136 48	0	21.45	Август 1825 г.
		89.8	13.35	Южное море.
		214.0	6.51	
		450.2	3.75	
		592.6	2.21	

Северная широта	Западная долгота, от Гринвича	Глубина, в туазах	Корректированная температура, °С	Примечание
32°20′	42°30′	0	20.86	Май 1825 г.*
		1014.8	2.24	Атлантический океан.
41 12	141 58	0	19.2	Август 1825 г.
		205.0	5.16	Южное море.
		512.1	2.14	
45 53	15 17	0	14.64	Май 1826 г.
		197.7	10.36	Атлантический океан.
		396.4	9.95	

Фиг. 9 дает графическое изображение приведенных выше результатов наших опытов; по абсциссам даны глубины

---

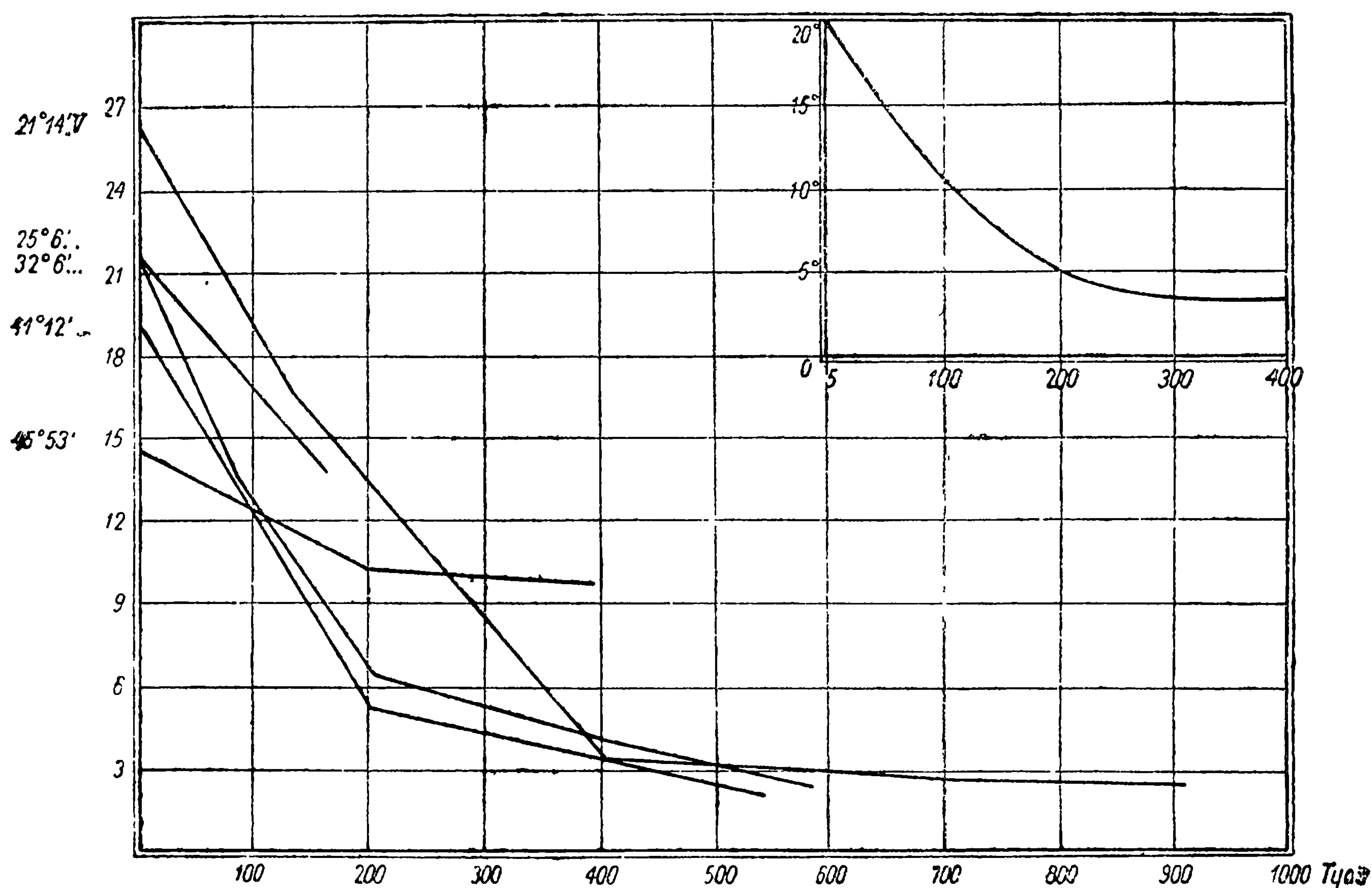
* Если для наблюдения при 32° 20′ с. ш. на глубине 1014.8 туаза внести поправку, сделанную прежним способом, и рассматривать среднюю температуру между верхом и низом как температуру нагревающей среды, то она, очевидно, была бы слишком велика, что можно заметить по прежним наблюдениям, состоявшим из многих станций. Поэтому мы вычисляем, поправку так: берем ее из наблюдений при 21° 14′ широты и рассчитываем по нашей общей формуле (стр. 59), какое время необходимо для найденного нагрева в 2°.16, если рассматривать его, как происходящий при средней температуре между верхом и низом. Таким образом, мы сразу находим член $at = 0.08707$ и для нашего случая имеем

$$x = \frac{10^{0.08707} \cdot 16.94}{1 + 10^{0.08707}} = 9.31.$$

Следовательно, разница для верха и низа будет 18°.62; истинная температура внизу = 20°.86 — 18°.62 = 2°.24. Такая поправка, думается нам, будет довольно близка к истинной.

в туазах, по ординатам — соответствующие температуры. На основании этой диаграммы можно сделать следующие выводы.

1. Начиная с 45° с. ш. и до экватора, до глубины в 1000 туазов, температура океана непрерывно понижается. Глубины свыше 1000 туазов еще не исследованы.



Фиг. 9.

2. Указанное понижение температуры происходит сперва быстро, затем постепенно все более и более медленно и, наконец, делается почти совсем незаметным.

3. Точка, с которой понижение температуры начинает быть незаметным, на бо́льших широтах, видимо, сдвигается выше. Так, между 41 и 32° широты ее глубина лежит в пределах от 200 до 300 туазов, на широте 21° — у 400 туазов. Между 45 и 53° наше наблюдение дало очень незначительное снижение; температура на глубине 400 туазов была еще 10°. Правда,

возможно, что эта величина явилась следствием близости суши, так как определялась она в Атлантическом океане на 15° от Гринвича, т. е. на довольно близком расстоянии от Европейского материка, в то время как все остальные опыты производились в открытом Южном море, вдали от всякой твердой земли. Однако даже при небольшом снижении температуры граница, где оно совсем перестает быть заметным, ясно определяется на глубине 200 туазов.

4. Наинизшей температурой, определенной нами в глубине, была 2°2 С, и почти все глубины, дальше которых понижение температуры становится неощутимым, имеют эту же температуру. Указанная температура с возрастанием широты сдвигается все выше, и было бы интересно определить, на какой широте она достигнет поверхности.

Закон понижения температуры, или уравнение кривой из наших немногих наблюдений не определяется. Такое определение требует экспедиции, которая бы тщательно отыскивала места, где господствует безветрие, и не оставляла бы их до тех пор, пока не определит температуру воды, по крайней мере, через каждые 100 туазов. Вообще же кривая будет иметь вид, сходный с изображенным в углу фиг. 9.

О солености океана на различных глубинах

Способ наблюдения удельного веса, а также метод приведения всех найденных удельных весов к 14° R = 17°5 С приведены в одном из последующих разделов „Об удельном весе морской воды на поверхности" (стр. 79—85) в различных широтах. Здесь ограничимся указанием, что при всех своих наблюдениях мы пользовались прибором № 1, за исключением одного наблюдения в Атлантическом океане, на 45°53′ с. ш., где был применен прибор № 2. Расчеты производились тем же методом, как в упомянутом выше разделе.

Результаты опытов приведены в следующей таблице:

№ опыта	Северная широта	Западная долгота, от Гринвича	Удельный вес	Разность между удельными весами на поверхности и в глубине	Глубина, в туазах
1	7°20′	21°59′	1.02574		0
			1.02641	—0.00070	539
2	21 14	196 1	1.02701		0
			1.02666	+0.00035	665.1
			1.02659	+0.00042	929.1
3	25 6	156 58	1.02706		0
			1.02674	+0.00032	167
4	41 12	141 58	1.02562		0
			1.02609	—0.00047	205
			1.02658	—0.00096	512.1
5	32 6	136 48	1.02678		0
			1.02624	+0.00054	214
			1.02651	+0.00027	450.2
			1.02629	+0.00049	592.6
6	32 20	42 30	1.02825		0
			1.02714	+0.00111	1014.8
7	45 53	15 17	1.02738		0
			1.02732	+0.00006	396.4

Из этой таблицы мы видим, что в опытах № 1 и № 4 удельный вес морской воды в глубине немного больше, нежели на поверхности; в опытах № 2, № 3 и № 5 имеет место обратное явление. В опыте № 7 удельный вес воды на поверхности так мало отличается от удельного веса воды на глубине, что с полным правом можно оба значения счесть одинаковыми. Для первых случаев можно, пожалуй, допустить, что небольшое превышение удельного веса воды на поверхности над удельным весом в глубине является следствием сильного испарения,

имевшего место в этот день. Равным образом, возможно, что небольшое уменьшение удельного веса в опытах № 2, № 3 и № 5 вызвано сильными дождями. Во всяком случае замечательно то, что все удельные веса воды на различных глубинах в одном и том же месте, за исключением поверхности, почти что совпадают друг с другом; здесь, где упомянутые выше помехи, искажающие значения удельного веса, отсутствуют, последний всегда один и тот же. Только результаты опыта № 6 резко отличаются от остальных тем, что удельный вес на глубине 1000 туазов оказался значительно ниже, чем на поверхности. Ошибка в наблюдении здесь мало вероятна, так как удельный вес воды в глубине выведен из 3 различных, но полностью совпадающих друг с другом взвешиваний одной и той же воды при 3 различных температурах, и удельный вес воды на поверхности вполне согласуется с данными, полученными накануне и на следующий день. Вопрос о том, не вызывается ли это отклонение наличием идущих в глубине, от полюса к экватору, течений с более холодной и менее соленой водой — можно будет решить только после постановки ряда опытов в данном направлении. Если мы из наших опытов исключим этот случай при 1000 туазах, то из них можно вывести следующий закон:

Вода в океане, от экватора до 45° широты, на всех глубинах до 1000 туазов содержит одно и то же количество солей.

О СОЛЕНОСТИ ОКЕАНА НА ПОВЕРХНОСТИ

Для определения содержания солей в воде океана в зависимости от различных широт, ареометр является во время морских путешествий наиболее удобным прибором. Хотя тут получается не непосредственно соленость, а лишь зависящий от нее удельный вес, для теории земли это не играет роли, так как речь идет только об отношениях; спрашивается только: вызывают ли малые различия в солености все же значительные изменения удельного веса? Для ответа на этот

вопрос приводим таблицу из „Gilberts Annalen“ (1819, Bd. XXXIII, стр. 204), содержащую результаты опытов Гей-Люссака по сравнению солености, полученные при испарении различных проб морской воды, с их удельным весом, при постоянной температуре в 8° C. Данные расположены нами в порядке возрастания удельных весов:

Удельный вес морской воды	Содержание соли, в %	Удельный вес морской воды	Содержание соли, в %
1.0272	3.48	1.0289	3.68
1.0275	3.57	1.0290	3.67
1.0278	3.77	1.0291	3.71
1.0278	3.48	1.0293	3.61
1.0283	3.67	1.0294	3.63
1.0284	3.58	1.0294	3.76
1.0286	3.70	1.0297	3.75
1.0288	3.75		

При ближайшем рассмотрении этой таблицы сразу же бросается в глаза отсутствие закономерности — содержание соли не образует постепенно возрастающего ряда. Так, например, 3-е наблюдение дает максимум солености, в то время как удельный вес меньше, чем в 12 последующих наблюдениях, и т. д. Правда, пробы воды были взяты на самых различных широтах, однако это не может оказывать какого-либо влияния на отношение удельного веса к содержанию соли, так как соотношение различных солей, содержащихся в морской воде, на всех широтах одинаково, и только общее их содержание по отношению к воде, в которой они растворены, изменяется в зависимости от географического положения местности (ср.: Gilb. Ann., Bd. XXXIII, стр. 130, новая серия). Следовательно, здесь либо удельные веса, либо осадок при испарении были определены недостаточно тщательно; в данном случае мы можем с полным правом отнести ошибки за счет последнего опреде-

ления. Произведенные в совершенно спокойной лабораторной обстановке и такими физиками, как Гей-Люссак и Депре, определения удельных весов путем взвешивания одного и того же сосуда с различными пробами морской воды при температуре в 8° С ошибок никак содержать не могут, в то время как последние могут свободно возникнуть в зависимости от большей или меньшей температуры при высушивании осадка. Таким образом видно, что для определения относительного содержания солей в морской воде на различных широтах метод определения удельного веса имеет преимущество перед методом испарения, тем более во время морских путешествий, при которых произвести точные взвешивания на весах невозможно.

Чтобы все же приближенно знать отношение удельного веса к солености, возьмем по Гей-Люссаку среднее из вышеприведенной таблицы. Получим: при 8° С удельному весу 1.0286 соответствует соленость 3.65%, при 14° удельному весу 1.0266 соответствует соленость 3.65%. К последней температуре, как это сейчас увидим, мы приводили все свои наблюдения.

В своем распоряжении мы имели два ареометра, оба с [накладываемыми] грузами. Первый, № 1, был изготовлен в Дерпте, второй, № 2, — в Лондоне.

Первый был из английской жести и весил в безвоздушном пространстве с постоянным грузом, равным 2893 гранам, всего 9778 гран аптекарского веса. С этим постоянным грузом он погружался в дистиллированную воду температурой в 14° R до черточки, нанесенной на его тонком горлышке. При малой качке корабля могла быть хорошо обнаружена уже прибавка в 0.1 грана; при более сильной качке можно было с уверенностью наблюдать прибавку лишь в 0.5 грана; поэтому точность определения удельного веса даже и здесь составляла до 0.00005. Если прибавку к постоянному грузу обозначить через *n*, то удельный вес при температуре, при которой производится наблюдение, равен

$$\frac{9778 + n}{9778}.$$

Как правило, нами применялся этот прибор, поскольку он был точнее, чем второй, до тех пор, покуда в последний год нашего путешествия, в Китайском море, он не пришел в негодность (внизу, где припаяна чашка, в полом кожухе образовалось отверстие, пропускавшее внутрь воду). С тех пор мы стали пользоваться прибором № 2. Прибор № 2 мы применяли также при сильной качке, так как прибором № 1 пользоваться было тогда нельзя.

Этот второй прибор был изготовлен Аткинсом в Лондоне из латуни; весил он 700 гран и погружался также до черты в дистиллированную воду с температурой 14° R, под действием груза в 300 гран. Если n — прибавка к грузу в 300 гран, то удельный вес равен $\frac{1000+n}{1000}$ (для температуры опыта). Вследствие расширения жести и латуни, имеющего место в обоих приборах и происходящего от изменения температуры, удельный вес сразу же соответственно исправлялся; при этом для первого объемное расширение бралось по Лавуазье и Лапласу равным 0.000045, для латуни по Ле-Руа равным 0.00007098 на каждый градус Реомюра (последнее значение взято потому, что оно является средним из большого количества имеющихся данных, см.: Gehler's Neues phys. Wörterbuch, статья Ausdehnung). Для того, чтобы определить удельный вес морской воды с точностью, требуемой современным состоянием естествознания, необходимо было прежде всего знать ее расширение для различных градусов термометра. Те, кто до нас производил наблюдения в этом направлении, удовлетворялись, сколько нам известно, тем, что принимали расширение для всех градусов термометра одинаковым. Они нагревали определенное количество морской воды до известной температуры, определяли потребную навеску ареометра, давали воде остыть и снова определяли навеску. По разности 2 навесок они узнавали прибавку, необходимую для данной разности температур, делили ее на число градусов и таким образом получали изменение на каждый градус.

Однако ясно, что этот метод несовершенен, поскольку мы знаем аномалии дистиллированной воды при расширении от нагревания. В одной работе д-ра Эрмана мл., напечатанной в „Poggendorff's Annalen der Physik" (1828, стр. 3), определяется сжатие воды удельного веса 1.027 от 12 до —3° R и доказывается, что такая вода не имеет максимума плотности перед замерзанием, как обычная вода. К этим его наблюдениям мы присоединяем подобный же ряд вверх до +24° R и получаем вместе с его опытами ряд от —3 до +24° R, заключающий в себе все определения в океане, так как там температура воды обычно не поднимается выше 24°.

Подобно д-ру Эрману, мы избрали для наших исследований воду с удельным весом 1.027, поскольку это является примерно средним значением для морской воды; для того чтобы убедиться, что с изменением удельного веса расширение от нагревания изменяется незначительно, мы произвели предварительно 2 ряда опытов над расширением с 2 пробами воды удельного веса 1.02 и 1.03, в пределах которых заключены все определения, полученные в открытом океане. Получилась следующая таблица:

Температура, °C	Вода с удельным весом 1.02		Температура, °C	Вода с удельным весом 1.03	
	удельный вес	разность		удельный вес	разность
10	1.020675		10	1.031450	
		0.000125			0.000170
11	1.020550		11	1.031280	
		0.000100			0.000170
12	1.020450		12	1.031110	
		0.000150			0.000160
13	1.020300		13	1.030950	
		0.000100			0.000175
14	1.020200		14	1.030775	
		0.000150			0.000175
15	1.020050		15	1.030600	
		0.000225			0.000150
16	1.019325		16	1.030450	
		0.000200			0.000250

Температура, °С	Вода с удельным весом 1.02		Температура, °С	Вода с удельным весом 1.03	
	удельный вес	разность		удельный вес	разность
17	1.019625		17	1.030200	
		0.000175			0.000200
18	1.019450		18	1.030000	
		0.000150			0.000230
19	1.019300		19	1.029770	
		0.000225			0.000200
20	1.019075		20	1.029570	
		0.000150			0.000200
21	1.018925		21	1.029370	
		0.000250			0.000250
22	1.018675		22	1.029120	
		0.000200			0.000300
23	1.018475		23	1.028820	
		0.000300			0.000200
24	1.018175		24	1.028620	
		0.000275			0.000250
25	1.017900		25	1.028370	
		0.000225			0.000300
26	1.017675		26	1.028070	
		0.000250			0.000100
27	1.017425		27	1.027970	
		0.000350			0.000550
28	1.017075		28	1.027420	

Объединяем наблюдения для 5°, взяв из них среднее, причем для большей точности делаем это так: для определения, например, среднего значения между 20—25° берется среднее между 20—25°, 19—24° и 21—26°, и из этих значений опять берется среднее. Из полученных разностей имеем следующее сопоставление:

На 1° С между	Поправка	
	для смеси 1.02	для смеси 1.03
10—15	0.000128	0.000167
15—20	0.000187	0.000217
20—25	0.000239	0.000243
25—30	0.000262	0.000262

и, следовательно, разность между двумя смесями

10—15° = 0.000039
15—20 = 0.000030
20—25 = 0.000001
25—30 = 0.000000

Очевидно, что разность в расширении указанных 2 смесей незначительна, а для температур свыше 20° вообще исчезает, поскольку разностью в 6-м десятичном знаке можно пренебречь. Так как удельный вес, по крайней мере в наших наблюдениях, редко опускался ниже 1.024 и никогда не превышал 1.029, то для смеси с удельным весом 1.027, с которой проделан следующий ряд опытов, эта разность будет еще намного меньше.

Итак, надлежало определить расширение на каждый градус температуры для смеси с удельным весом 1.027; для этого был произведен со всей возможной тщательностью ряд опытов со смесью поваренной соли и воды, имевшей данный удельный вес. Градусы отсчитывались по шкале Реомюра, и термометр был предварительно соответственным образом выверен. Поправкой на расширение латуни ареометра данные заранее приведены к равным объемам; значение объемного расширения латуни на 1° R взято по данным Ле-Руа равным 0.00007098.

Температура	Вес равного объема воды, в гранах	Температура	Вес равного объема воды, в гранах	Температура	Вес равного объема воды, в гранах
6°	1028.10	13°	1026.33	20°	1023.75
7	1027.94	14	1025.96	21	1023.37
8	1027.67	15	1025.59	22	1022.95
9	1027.37	16	1025.24	23	1022.48
10	1027.22	17	1024.89	24	1022.01
11	1026.92	18	1024.47		
12	1026.62	19	1024.12		

Если эти наблюдения связать с данными д-ра Эрмана, указанными в его таблице (Pogg. Ann., 1828, 3, стр. 375), а именно [наше] второе наблюдение (при 7°)* приравняем с его наблюдением, сделанным также при 7°, то получим:

Температура, °R	Удельный вес смеси		Температура, °R	Удельный все по нашим наблюдениям
	по Эрману	по нашим наблюдениям		
0	1.00000		13	0.997009
1	0.99976		14	0.996647
2	0.99946		15	0.996287
3	0.99936		16	0.995943
4	0.99924		17	0.995610
5	0.99900		18	0.995200
6	0.99875	0.998726	19	0.994858
7	0.99857	0.998570	20	0.994497
8	0.99830	0.998304	21	0.994135
9	0.99789	0.998020	22	0.993725
10	0.99773	0.997871	23	0.993267
11	0.99758	0.997607	24	0.992808
12	0.99716	0.997293		

Из этой таблицы мы до 7° взяли наблюдения Эрмана, а после 7° — наши наблюдения и попробовали выразить уменьшение плотности при увеличении температуры по формуле

$$d^t = 1 + at + bt^2 + ct^3,$$

где d^t — плотность при температуре t. Стараясь определить коэффициенты a, b и c по способу наименьшей суммы квадратов, мы пришли к следующим окончательным уравнениям:

$$298.695823 = 300 + 4900 \cdot a + 90000 \cdot b + 1763020 \cdot c,$$
$$4875.452455 = 4900 + 90000 \cdot a + 1763020 \cdot b + 35970000 \cdot c,$$
$$89510.810541 = 90000 + 1763020 \cdot a + 35970000 \cdot b + 754740700 \cdot c.$$

* Мы выбираем второе наблюдение нашего ряда, а не первое при 6°, потому что первое, являясь началом наблюдений, обычно дает более сомнительные результаты, нежели последующие.

Определив отсюда *a*, *b* и *c*, имеем для нашей формулы:

$$d^t = 1 - 0.00020533 \cdot t +$$

$$+ 0.0000003723 \cdot t^2 - 0.000000188086 \cdot t^3.$$

Подсчеты по этой формуле приведены в следующей таблице:

Температура, °R	Удельный вес	Отклонения от наблюдений	Температура, °R	Удельный вес	Отклонения от наблюдений
0	1.000000	0.000000	13	0.996980	—0.000029
1	0.999795	+0.000035	14	0.996682	+0.000035
2	0.999589	+0.000129	15	0.996369	+0.000082
3	0.999382	+0.000022	16	0.996042	—0.000099
4	0.999173	—0.000067	17	0.995693	+0.000083
5	0.998959	—0.000041	18	0.995328	+0.000128
6	0.998741	—0.000009	19	0.994943	+0.000085
7	0.998516	—0.000054	20	0.994538	+0.000041
8	0.998285	—0.000019	21	0.994110	+0.000025
9	0.998045	+0.000025	22	0.993660	—0.000065
10	0.997796	+0.000075	23	0.993186	—0.000081
11	0.997536	—0.000071	24	0.992686	—0.000122
12	0.997265	—0.000028			

Когда удельный вес, найденный из наблюдений, оказывался меньше, нежели вычисленный, то отклонения отмечались знаком „+“, и наоборот, если найденный из наблюдений удельный вес оказывался больше, чем вычисленный, то знаком „—“. По этой таблице исправлялись все определения удельного веса морской воды, произведенные нами в течение путешествия; они приводились к одной и той же температуре = 14° R; удельный вес дистиллирозанной воды при этой температуре принят равным 1.000000. На следующих страницах приведены результаты наших наблюдений в той последовательности, в какой они производились.

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, °R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1823 г.	N	W				
13 сентября	50° 25′	2° 39′	№ 1 = 266.5	11.4	1.027385	1.026639
			№ 2 = 327.1	11.4	1.027289	1.026543
14	50 16	3 18	№ 1 = 268.5	12.1	1.027548	1.027043
			№ 2 = 327.5	11.9	1.027653	1.026993
15	50 10	5 4	№ 1 = 273.5	10.7	1.028124	1.027192
			№ 2 = 327.8	10.5	1.028056	1.027072
16	48 54	5 57	№ 1 = 264.0	12.24	1.027083	1.026563
			№ 2 = 327.2	12.24	1.027331	1.026805
17	47 48	7 36	№ 1 = 270.0	12.2	1.027696	1.027170
			№ 2 = 327.6	12.2	1.027731	1.027203
18	47 10	8 33	№ 2 = 326.9	12.6	1.026766	1.026351
20	43 3	11 35	№ 2 = 327.5	13.2	1.027322	1.027083
21	41 2	12 38	№ 1 = 267.5	14.2	1.027348	1.027411
			№ 2 = 327.3	14.2	1.027286	1.027349
22	40 2	12 38	№ 1 = 266.8	15.2	1.027230	1.027608
			№ 2 = 327.2	15.1	1.027120	1.027466
24	38 0	13 20	№ 1 = 267.0	15.8	1.027233	1.027798
			№ 2 = 327.2	15.8	1.027069	1.027644
25	36 20	14 6	№ 2 = 327.6	15.7	1.027476	1.028017

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1823 г.	N	W				
26 сентября	33° 9.5′	14° 53′	№ 1 = 265.0	16.2	1.027000	1.027922
			№ 2 = 327.4	16.1	1.027247	1.027710
27	30 55	15 19	№ 1 = 266.0	16.5	1.027088	1.027902
			№ 2 = 327.4	16.5	1.027218	1.028032
28	28 13	16 14	№ 1 = 264.0	16.6	1.026880	1.027729
			№ 2 = 327.1	16.5	1.026918	1.027732
29	25 39	17 45	№ 1 = 263.0	17.7	1.026702	1.027979
			№ 2 = 327.0	17.7	1.026730	1.027951
30	23 52	19 48	№ 1 = 259.0	17.8	1.026313	1.027598
			№ 2 = 326.5	17.8	1.026223	1.027508
1 октября	22 24	21 23	№ 1 = 257.6	18.5	1.026137	1.027683
			№ 2 = 326.2	18.5	1.025872	1.027418
2	21 0	23 18	№ 2 = 326.4	18.8	1.026050	1.027683
3	19 1	25 5	№ 1 = 255.8	19.4	1.025912	1.027812
			№ 2 = 326.2	19.3	1.025814	1.027674
4	16 23	26 27	№ 2 = 325.9	20	1.025463	1.027607
5	13 38	25 41	№ 2 = 325.2	20.2	1.024764	1.026994
6	11 29	24 25	№ 2 = 325.2	20.2	1.024764	1.026994
7	9 54	22 59	№ 2 = 325.0	21.0	1.024490	1.027062

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1823 г.	N	W				
8 октября	8° 45′	21° 53′	№ 2 = 335.0	21.0	1.024490	1.027062
9	7 28	21 53	№ 2 = 323.8	21.0	1.023291	1.025863
10	7 20	21 59	№ 1 = 233.1	20.8	1.023432	1.025918
			№ 2 = 323.5	20.8	1.023006	1.025492
12	6 12	21 10	№ 2 = 324.2	20.4	1.023782	1.026097
13	5 45	21 39	№ 2 = 325.0	20.6	1.024590	1.026921
14	5 10	20 32	№ 2 = 324.2	20.4	1.023788	1.026103
16	5 1	18 11	№ 2 = 324.1	20.4	1.023635	1.025950
17	4 43	18 46	№ 2 = 324.1	20.4	1.023635	1.025950
18	3 33	20 15	№ 2 = 324.6	20.2	1.024149	1.026379
19	3 12	21 11	№ 2 = 325.2	20.0	1.024764	1.026908
20	2 3	22 46	№ 2 = 325.6	19.2	1.025221	1.027001
21	0 00	24 16.5	№ 1 = 248.5	19.0	1.025184	1.026923
			№ 2 = 326.0	19.0	1.025636	1.027375
22	1 25	26 10	№ 2 = 325.9	19.2	1.025521	1.027341
23	4 7	28 00	№ 1 = 253.5	19.4	1.025676	1.027577
24	6 51	29 19	№ 1 = 254.0	19.4	1.025727	1.027628
25	9 36	31 00	№ 1 = 255.2	19.4	1.025850	1.027751
27	14 16	34 14	№ 1 = 262.6	18.9	1.026630	1.028331

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1823 г.	N	W				
28 октября	16° 15′	34° 58′	№ 1 = 261.9	19.1	1.026537	1.028316
29	18 29	35 56	№ 1 = 262.2	19.0	1.026584	1.028323
30	20 11	37 33	№ 1 = 263.3	18.7	1.026710	1.028333
31	22 21	39 28	№ 1 = 263.3	18.6	1.026715	1.028300
30 ноября	26 55	44 5	№ 1 = 261.9	17.3	1.026632	1.027730
1 декабря	29 21	45 16	№ 1 = 265.5	17.7	1.026036	1.027280
2	31 12	46 25	№ 1 = 263.7	17.1	1.026825	1.027850
3	32 37	47 19	№ 1 = 261.5	17.4	1.026586	1.027721
4	33 31	49 22	№ 2 = 327.0	16.5	1.026818	1.027632
5	34 58	51 3	№ 1 = 260.0	15.0	1.026544	1.026857
5 (в 9 ч. веч.)			№ 1 = 261.5	14.0	1.026743	1.026743
6	37 24	52 31	№ 1 = 248.8	13.7	1.025459	1.025370
8	40 41	53 20	№ 1 = 270.5	13.2	1.027700	1.027462
9	43 45	55 32	№ 1 = 266.0	10.2	1.027380	1.026318
10	54 2	56 34	№ 1 = 267.5	10.2	1.027533	1.026471
11	44 49	48 9	№ 1 = 263.5	11.6	1.027060	1.026369
	S					
14	44 15	60 33	№ 2 = 326.4	10.5	1.026655	1.025671

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1823 г.	S	W				
18 декабря	48° 7′	63° 15′	№ 1 = 262.1	9.3	1.027022	1.025733
19	48 54	63 14	№ 1 = 262.6	9.2	1.027078	1.025764
20	50 18	63 24	№ 1 = 259.1	11.0	1.026637	1.025783
22	53 27	63 58	№ 1 = 265.1	9.1	1.027339	1.026001
23	54 6	64 15	№ 1 = 263.1	8.8	1.027147	1.025736
24	54 49	63 5	№ 1 = 261.1	7.7	1.026994	1.025345
25	55 59	66 7	№ 1 = 259.1	9.8	1.026692	1.025528
26	56 2	66 41	№ 1 = 259.1	9.8	1.026692	1.025528
27	56 41	68 19	№ 1 = 262.1	9.9	1.026994	1.025855
29	57 27	70 47	№ 1 = 268.7	8.1	1.027753	1.026174
1824 г.						
4 января	54 17	80 57	№ 1 = 268.1	7.9	1.027701	1.026075
8	49 6	80 23	№ 2 = 326.7	10.0	1.026992	1.025872
11	44 47	78 22	№ 1 = 257.1	11.0	1.026435	1.025581
12	43 6	78 14	№ 1 = 256.1	12.4	1.026266	1.025797
15	37 55	74 28	№ 1 = 260.1	13.9	1.026605	1.026575
4 февраля	32 36	74 59	№ 1 = 250.1	18.5	1.025370	1.026916
5	29 43	77 38	№ 1 = 252.1	15.7	1.025727	1.026268
6	27 31	79 48	№ 1 = 253.6	16.3	1.025830	1.026575

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1824 г.	S	W				
8 февраля	25° 3′	83° 24′	№ 1 = 255.1	17.0	1.025950	1.026939
9	23 49	84 49	№ 1 = 254.1	17.3	1.025823	1.026921
10	22 18	86 39	№ 1 = 255.6	17.6	1.025974	1.027182
11	21 35	88 41	№ 1 = 252.1	17.7	1.025634	1.026878
13	19 41	94 9	№ 1 = 256.6	18.6	1.026030	1.027615
14	19 17	97 8	№ 1 = 258.1	18.5	1.026188	1.027734
15	18 58	99 53	№ 1 = 257.6	18.7	1.026128	1.027751
16	13 41	102 34	№ 1 = 257.1	19.0	1.026063	1.027791
17	18 24	105 9	№ 1 = 256.6	19.3	1.025961	1.027821
20	17 35	113 34	№ 1 = 252.6	20.2	1.025547	1.027787
21	17 25	116 15	№ 1 = 254.6	20.2	1.025752	1.027992
22	17 13	119 6	№ 1 = 254.1	20.6	1.025683	1.028084
24	16 50	124 15	№ 1 = 250.6	20.7	1.025343	1.027817
27	16 21	131 52	№ 1 = 248.6	21.4	1.025083	1.027835
28	16 8	134 34	№ 1 = 249.1	21.0	1.025153	1.027725
29	16 2	136 13	№ 1 = 248.6	21.0	1.025101	1.027673
1 марта	16 7	138 00	№ 1 = 244.3	21.8	1.024625	1.027557
2	15 54	139 19	№ 1 = 245.1	21.8	1.024706	1.027638
4	15 57	140 8	№ 1 = 244.1	21.9	1.024590	1.027567

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1824 г.	S	W				
7 марта	14° 32′	143° 55′	№ 1 = 241.6	22.6	1.024313	1.027599
10	15 42	146 14	№ 1 = 243.1	21.3	1.024525	1.027232
12	16 55	148 52	№ 1 = 240.8	22.4	1.024240	1.027452
29	15 16	159 41	№ 1 = 244.3	21.8	1.024625	1.027557
30	15 6	161 55	№ 1 = 238.1	22.4	1.023964	1.027176
1 апреля	14 57	165 45	№ 1 = 241.1	21.6	1.024308	1.027160
2	14 30	168 1	№ 1 = 235.1	22.2	1.023666	1.026783
4	14 15	170 50	№ 1 = 241.3	21.9	1.024078	1.027055
7	13 19	172 54	№ 1 = 235.1	22.4	1.023634	1.026846
8	11 24	174 14	№ 1 = 232.1	22.2	1.023360	1.026477
9	9 59	175 6	№ 1 = 231.6	22.8	1.023231	1.026682
11	8 2	175 33	№ 1 = 236.9	22.1	1.023855	1.026924
14	4 39	177 29	№ 1 = 240.1	22.4	1.024168	1.027380
18	2 50	177 55	№ 1 = 236.1	22.8	1.023741	1.027142
21	1 28	178 52	№ 1 = 241.3	21.8	1.024319	1.027251
	N					
23	1 1	180 26	№ 1 = 238.5	22.6	1.023995	1.027281
27	8 22	186 52	№ 1 = 240.1	20.6	1.024251	1.027537
7 мая	10 2	191 3	№ 1 = 239.3	21.0	1.024151	1.026723

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1824 г.	N	W				
9 мая	13° 3′	192° 35′	№ 1 = 239.1	21.1	1.024126	1.026743
10	15 10	193 21	№ 1 = 240.6	21.0	1.024284	1.026856
11	17 8	194 5	№ 1 = 238.7	21.6	1.024062	1.026904
13	18 59	195 2	№ 1 = 241.1	21.8	1.024298	1.027230
15	19 29	195 36	№ 1 = 243.1	21.0	1.024549	1.027121
17	21 14	196 10	№ 1 = 246.1	20.4	1.024875	1.027190
18	21 14	196 1	№ 1 = 242.5	21.2	1.024469	1.027131
19	21 44	195 44	№ 1 = 245.7	20.4	1.024833	1.027148
21	23 33	196 25	№ 1 = 245.6	20.8	1.024304	1.027290
26	33 5	201 4	№ 1 = 259.2	14.7	1.026476	1.026695
27	34 15	201 2	№ 1 = 254.6	16.6	1.025918	1.026767
29	37 2	202 00	№ 1 = 258.8	15.3	1.026408	1.026819
31	41 52	200 52	№ 1 = 255.6	13.8	1.026149	1.026089
4 июня	46 42	200 14	№ 1 = 263.1	6.2	1.027268	1.025254
5	47 33	199 29	№ 1 = 261.3	7.8	1.027010	1.025361
6	49 22	199 42	№ 1 = 261.3	7.7	1.027010	1.025191
21 июля	50 25	192 26	№ 1 = 259.6	7.8	1.026692	1.025042
23	50 2	187 16	№ 1 = 258.6	9.0	1.026678	1.025315
25	49 50	184 41	№ 1 = 258.6	9.0	1.026678	1.025315

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, °R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1824 г.	N	W				
27 июля	49° 36′	180° 45′	№ 1 = 254.1	9.4	1.026200	1.024937
28	49 27	178 49	№ 1 = 255.0	10.1	1.026259	1.025171
3 августа	51 8	154 36	№ 1 = 255.4	9.2	1.026341	1.025028
4	52 7	151 10	№ 1 = 252.6	10.2	1.026009	1.024947
5	52 55	148 10	№ 1 = 254.5	10.1	1.026209	1.025121
6	53 52	144 58	№ 1 = 247.1	13.2	1.025308	1.025074
8	56 22	138 1	№ 1 = 247.1	10.8	1.025419	1.024503
29 ноября	27 53	128 17	№ 1 = 256.6	14.3	1.026228	1.026322
1 декабря	25 30	130 46	№ 1 = 256.6	15.2	1.026186	1.026564
3	23 12	134 27	№ 1 = 255.6	16.4	1.026029	1.026729
10	19 47	147 6	№ 1 = 252.4	17.7	1.025642	1.026787
11	20 19	150 35	№ 1 = 252.4	17.8	1.025638	1.026919
12	21 5	153 42	№ 1 = 252.8	17.8	1.025679	1.026960
13	21 16	156 9	№ 1 = 253.1	17.8	1.025710	1.026991
1825 г.						
4 февраля	23 5	157 53	№ 1 = 257.1	17.1	1.026151	1.027176
5	23 41	156 40	№ 1 = 256.6	17.1	1.026099	1.027124
8	25 6	156 58	№ 1 = 256.3	17.1	1.026069	1.027094
10	27 52	156 34	№ 1 = 262.6	14.9	1.026714	1.026996

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1825 г.	N	W				
11 февраля	29° 34′	156° 00′	№ 1 = 263.1	14.0	1.026907	1.026907
14 августа	55 11	139 13	№ 1 = 252.6	11.4	1.025717	1.024971
16	51 32	138 57	№ 1 = 256.6	10.2	1.026412	1.025350
18	48 9	139 29	№ 1 = 255.6	11.1	1.026320	1.025493
19	45 9	140 32	№ 1 = 263.6	12.1	1.026024	1.025469
21	44 15	140 23	№ 1 = 251.1	13.0	1.025726	1.025428
23	41 25	141 43	№ 1 = 251.2	13.8	1.025699	1.025639
24	41 12	141 58	№ 1 = 246.6	15.8	1.025137	1.025712
25	40 42	142 41	№ 1 = 247.6	15.6	1.025254	1.025763
26	39 46	142 40	№ 1 = 247.1	15.4	1.025206	1.025650
27	37 30	140 47	№ 1 = 252.6	16.1	1.025736	1.026446
23	35 22	139 19	№ 1 = 254.2	16.3	1.025891	1.026636
30	32 53	137 48	№ 1 = 252.6	17.3	1.025680	1.026778
1 сентября	31 17	137 5	№ 1 = 256.1	16.6	1.026072	1.026921
3	28 54	137 57	№ 1 = 256.3	17.4	1.026054	1.027189
4	27 6	138 47	№ 1 = 253.1	17.8	1.025710	1.026991
6	24 49	142 15	№ 1 = 253.1	18.6	1.025673	1.027258
8	23 27	146 53	№ 1 = 248.6	19.7	1.025161	1.027184
10	21 59	151 1	№ 1 = 249.1	20.2	1.025160	1.027419

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1825 г.	N	W				
12 сентября	21° 7′	154° 19′	№ 1 = 247.3	20.4	1.024977	1.027312
21	18 36	161 13	№ 1 = 243.6	20.6	1.024558	1.026959
23	16 44	163 50	№ 1 = 243.6	21.0	1.024590	1.027162
25	15 23	127 22	№ 1 = 242.4	21.2	1.024482	1.027144
27	14 32	169 38	№ 1 = 241.8	21.4	1.024388	1.027140
1 октября	12 6	181 18	№ 1 = 239.8	21.8	1.024166	1.027098
3	11 19	186 5	№ 1 = 240.1	21.5	1.024209	1 027006
5	11 11	189 56	№ 1 = 236.6	21.4	1.023833	1.026585
8	11 11	193 35	№ 1 = 237.6	21.7	1.023968	1.026855
9	11 37	195 40	№ 1 = 236.1	21.8	1.023787	1.026719
12	11 34	198 27	№ 1 = 234.9	22.0	1.023654	1.026676
26	18 1	223 12	№ 1 = 238.1	22.3	1.023969	1.027132
28	19 57	228 59	№ 1 = 239.4	21.9	1.024072	1.027049
29	20 12	230 59	№ 1 = 241.1	21.6	1.024308	1.027150
31	20 13	234 28	№ 1 = 242.1	21.0	1.024437	1.027009
2 ноября	20 8	237 56	№ 1 = 239.1	21.2	1.024121	1.026783
3	18 12	239 44	№ 1 = 234.6	21.3	1.023659	1.026362
5	16 28	240 33	№ 1 = 228.1	22.2	1.022948	1.026055

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1826 г.	N	W				
12 января	13° 29′	244° 17′	№ 1 = 234.6	20.2	1.023707	1.025937
13	13 00	246 47	№ 1 = 239.6	19.3	1.024262	1.026122
15	9 17	251 20	№ 1 = 241.1	19.0	1.024428	1.026167
18	5 12	254 50	№ 1 = 229.6	21.7	1.023126	1.026013
20	2 42	255 22	№ 1 = 228.8	21.0	1.023070	1.025642
	S					
27	6° 58′	255 26	№ 2 = 323.5	21.4	1.022726	1.025478
28	9 15	256 4	№ 2 = 323.2	21.7	1.022640	1.025527
30	12 13	256 9	№ 2 = 323.4	21.1	1.022883	1.025500
2 февраля	12 29	257 59	№ 2 = 324.1	20.6	1.023620	1.026621
3	13 19	259 56	№ 2 = 324.4	20.2	1.023949	1.026179
5	14 36	265 5	№ 2 = 324.0	20.9	1.023499	1.026028
6	14 6	266 48	№ 2 = 324.1	20.7	1.023613	1.026057
8	14 55	269 46	№ 2 = 324.3	20.6	1.023820	1.026221
9	16 24	273 5	№ 2 = 324.3	20.7	1.023813	1.026257
11	18 23	278 5	№ 2 = 324.5	20.3	1.024042	1.026314
12	19 43	281 35	№ 2 = 324.9	20.0	1.024464	1.026608
13	20 45	284 59	№ 2 = 325.5	19.8	1.024628	1.026691
14	22 2	288 25	№ 2 = 325.0	20.0	1.024564	1.026708

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный все, приведенный к температуре 14°
1826 г.	S	W				
15 февраля	22° 39′	291° 31′	№ 2 = 325.0	20.0	1.024564	1.025708
17	23 33	294 26	№ 2 = 325.0	19.9	1.024571	1.026675
19	24 33	298 18	№ 2 = 325.0	19.7	1.024585	1.026607
20	25 4	301 9	№ 2 = 325.0	20.0	1.024564	1.026708
22	26 55	306 22	№ 2 = 325.0	20.1	1.024556	1.026743
26	28 26	312 49	№ 2 = 325.5	19.0	1.025143	1.026873
27	28 48	315 2	№ 2 = 325.4	19.0	1.025036	1.026775
1 марта	30 5	320 4	№ 2 = 325.5	18.9	1.025143	1.026844
3	31 24	322 46	№ 2 = 325.8	18.7	1.025458	1.027081
8	34 2	327 9	№ 2 = 326.1	17.1	1.025874	1.026899
11	33 58	330 34	№ 2 = 326.3	16.9	1.026089	1.027043
13	34 7	332 18	№ 2 = 326.4	16.6	1.026210	1.027059
14	35 10	335 28	№ 2 = 326.0	17.2	1.025760	1.026858
15	35 21	339 17	№ 2 = 326.5	16.7	1.026303	1.027187
17	34 3	342 31	№ 2 = 326.7	15.2	1.026613	1.026991
18	31 49	343 36	№ 2 = 326.7	13.9	1.026707	1.026671
19	30 34	345 13	№ 2 = 327.0	14.8	1.026941	1.027191
20	28 46	347 29	№ 2 = 326.75	15.6	1.026634	1.027143
21	26 45	350 30	№ 2 = 326.8	15.7	1.026676	1.027218

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1826 г.	S	W				
22 марта	24° 49′	350° 30′	№ 2 = 326.6	16.0	1.026454	1.027099
24	21 29	357 49	№ 2 = 327.1	16.9	1.026888	1.027842
27	18 5	2 44	№ 2 = 327.0	18.0	1.026472	1.027826
30	15 58	5 49	№ 2 = 327.0	17.9	1.026716	1.028034
8 апреля	14 18	8 7	№ 2 = 326.6	18.7	2.026255	1.027878
10	11 12	12 33	№ 2 = 326.3	20.1	1.025856	1.028043
12	8 4	16 19	№ 2 = 325.4	21.1	1.024883	1.027500
15	2 20	22 18	№ 2 = 325.4	20.8	1.024905	1.027391
	N					
17	1′ 50°	23 10	№ 2 = 324.3	21.4	1.023762	1.026514
19	3 22	32 30	№ 2 = 324.5	21.7	1 023940	1.026827
21	4 36	25 24	№ 2 = 325.4	20.8	1.024905	1.027391
23	6 8	28 41	№ 2 = 325.9	20.2	1.025448	1.027678
26	11 22	33 48	№ 2 = 326.55	18.5	1.026222	1.027768
27	13 15	35 23	№ 2 = 326.6	18.3	1.026287	1.027756
28	15 11	36 41	№ 2 = 326.4	18.6	1.026041	1.027626
29	17 16	37 57	№ 2 = 326.9	18.6	1.026564	1.028149
30	19 22	39 13	№ 2 = 327.4	18.3	1.027086	1.028555
1 мая	21 45	40 33	№ 2 = 327.5	18.0	1.027208	1.028562

Продолжение

Дата наблюдений по старому стилю	Широта	Долгота от Гринвича	Прибавка	Температура, ° R	Удельный вес с поправкой на расширение металла	Удельный вес, приведенный к температуре 14°
1826 г.	N	W				
2 мая	24° 10′	41° 18′	№ 2 = 327.6	17.1	1.027374	1.028399
3	27 7	41 45	№ 2 = 327.7	16.8	1.027495	1.028414
5	31 55	42 18	№ 2 = 327.5	16.8	1.027295	1.028214
6	32 20	42 30	№ 2 = 327.5	16.7	1.027300	1.028184
8	35 20	40 2	№ 2 = 327.7	15.4	1.027600	1.028044
9	36 43	37 17	№ 2 = 327.75	14.8	1.027735	1.027798
10	38 3	36 57	№ 2 = 327.85	13.7	1.027872	1.027783
11	39 53	36 37	№ 2 = 328.0	13.8	1.028015	1.027955
12	41 6	34 15	№ 2 = 327.9	13.6	1.027929	1.027710
14	42 40	30 31	№ 2 = 328.0	13.3	1.028051	1.027842
16	43 17	24 8	№ 2 = 328.02	12.6	1.028127	1.027715
19	44 0	18 39	№ 2 = 328.2	12.1	1.028339	1.027784
21	45 1	17 16	№ 2 = 327.95	11.3	1.028147	1.027374
23	45 31	16 22	№ 2 = 328.1	11.8	1.028260	1.027623
24	45 53	15 17	№ 2 = 327.9	12.0	1.027044	1.027451
26	47 19	15 54	№ 2 = 327.8	13.6	1.027831	1.027712
29	48 16	11 57	№ 2 = 327.8	12.2	1.027931	1.027405
1 июня	49 30	6 14	№ 2 = 327.7	12.3	1.027824	1.027325

Чтобы выяснить, нельзя ли установить общую закономерность в уменьшении солености с увеличением широты, из этих, расположенных по времени их проведения наблюдений составлена следующая таблица всех определений в Атлантическом океане, расположенных в порядке широт:

Широта	Западная долгота, от Гринвича	Удельный вес	Месяц наблюдений
N			
50°25′	2°39′	1.026639	Сентябрь.
50 16	3 18	1.026993	»
50 10	5 4	1.027192	»
49 30	6 14	1.027325	Май.
48 54	5 57	1.026563	Сентябрь.
48 10	11 57	1.027405	Май.
47 48	7 36	1.027170	Сентябрь.
47 19	15 54	1.027712	Май.
47 10	8 33	1.026354	Сентябрь.
45 53	15 17	1.027451	Май.
45 31	16 22	1.027623	»
45 1	17 16	1.027374	»
44 0	18 39	1.027784	»
43 17	24 8	1.027715	»
43 3	11 35	1.027083	Сентябрь.
42 40	30 31	1.027842	Май.
41 6	34 15	1.027710	»
41 2	12 38	1.027411	Сентябрь.
40 2	12 38	1.027608	»
39 53	36 37	1.027955	Май.
38 3	36 57	1.027783	»
38 0	13 20	1.027798	Сентябрь.
36 43	37 17	1.027798	Май.
36 20	14 6	1.028017	Сентябрь.
35 20	40 2	1.028049	Май.

Продолжение

Широта	Западная долгота, от Гринвича	Удельный вес	Месяц наблюдений
N			
33° 9′	14°53′	1.027710	Сентябрь.
32 20	42 30	1.028184	Май.
31 53	42 18	1.028214	»
31 49	42 10	1.028195	»
30 55	15 19	1.027902	Сентябрь.
28 13	16 14	1.027729	»
27 7	41 45	1.028414	Май.
25 39	17 45	1.027951	Сентябрь.
24 10	41 48	1.028399	Май.
23 52	19 48	1.027598	Сентябрь.
22 24	21 23	1.027683	Октябрь.
21 45	40 33	1.028562	Май.
21 00	23 18	1.027711	Октябрь.
19 22	39 13	1.028555	Апрель.
19 1	25 5	1.027812	Октябрь.
17 16	37 57	1.028149	Апрель.
16 23	26 27	1.027607	Октябрь.
15 11	36 41	1.027626	Апрель.
13 38	25 41	1.026994	Октябрь.
13 15	35 23	1.027756	Апрель.
11 29	24 25	1.026980	Октябрь.
11 22	33 48	1.027768	Апрель.
9 45	22 59	1.027062	Октябрь.
7 28	21 53	1.025863	»
7 20	21 59	1.025918	»
6 12	21 10	1.026097	»
6 8	28 41	1.027678	Апрель.
5 45	21 39	1.026921	Октябрь.
5 10	20 32	1.026103	»

Широта	Западная долгота, от Гринвича	Удельный вес	Месяц наблюдений
N			
5°1′	18°44′	1.025950	Октябрь.
4 36	25 24	1.027391	Апрель.
3 33	20 15	1.026379	Октябрь.
3 22	23 30	1.026827	Апрель.
3 12	21 11	1.026908	Октябрь.
2 3	22 46	1.027001	"
1 55	23 10	1.026514	Апрель.
0 00	24 16	1.027375	Октябрь.
S			
1°25′	26 10	1.027341	"
2 20	22 18	1.027391	Апрель.
4 7	28 00	1.027577	Октябрь.
6 51	29 19	1.027628	"
8 4	16 19	1.027500	Апрель.
9 36	31 00	1.027751	Октябрь.
11 12	12 33	1.028013	Апрель.
14 16	34 14	1.028244	Октябрь.
14 18	8 7	1.027875	Апрель.
15 58	5 49	1.028034	Март.
16 15	34 58	1.028316	Октябрь.
18 5	2 44	1.027826	Март.
18 29	35 56	1.028323	Октябрь.
20 11	37 33	1.028333	"
21 29	357 49	1.027842	Март.
22 21	39 28	1.028300	Октябрь.
24 49	350 30	1.0270[illegible]9	Март.
26 45	350 30	1.027218	"
26 55	44 5	1.027730	Ноябрь.
28 46	347 29	1.027143	Март.

Продолжение

Широта	Западная долгота, от Гринвича	Удельный вес	Месяц наблюдений
S			
29°21′	45°16′	1.027280	Декабрь.
30 34	345 13	1.027191	Март.
31 12	46 25	1.027850	Декабрь.
31 49	343 36	1.026677	Март.
32 37	47 19	1.027721	Декабрь.
33 31	49 22	1.027632	„
34 3	342 31	1.026991	Март.
34 58	51 3	1.026857	Декабрь.
35 00	51 16	1.026743	„
37 24	52 31	1.025570	„
40 41	52 20	1.027462	„
43 45	55 32	1.026318	„
44 2	56 34	1.026471	„
44 49	48 9	1.026369	„
44 15	60 33	1.025675	„
48 7	63 15	1.025733	„
48 54	63 14	1.025764	„
50 18	63 24	1.025764	„
53 27	63 58	1.026001	„
54 6	64 15	1.025736	„
54 49	63 5	1.025345	„
55 59	66 7	1.025528	„
56 41	66 19	1.025855	„

Из сопоставления наблюдений удельного веса воды Атлантического океана мы видим, что нужно различать наблюдения, проведенные на пути туда и на обратном пути.

А именно, наблюдения в мае, апреле и марте 1826 г. производились на обратном пути, а в сентябре, октябре, ноябре и декабре 1823 г. — на пути туда. Если рассмотреть приведенный ряд наблюдений, то можно обнаружить, что если, например, наблюдения в мае следуют непосредственно за наблюдениями в сентябре (например при 24°10′ и 23°52′ с. ш.), то имеет место значительное различие в удельных весах. На первый взгляд можно было бы сказать, что такие наблюдения, произведенные в различные годы, не могут быть увязаны друг с другом; однако в этих наблюдениях имеет место различие не только во времени, но также и в долготе и встает вопрос о том, нельзя ли различием в долготе объяснить это различие [в результатах]. При более внимательном рассмотрении нашей таблицы последнее выясняется все более. Именно вначале, когда в мае 1826 г. наблюдения производились западнее, нежели в сентябре 1823 г., мы видели сплошь бóльшие значения удельного веса. С 3° с. ш. до 0° те и другие наблюдения как в апреле 1826 г., так и в октябре 1823 г. произведены приблизительно на одной и той же долготе, и удельные веса получались тоже почти равными. Далее, наблюдения в октябре, ноябре и декабре производились опять западнее, и значения удельного веса получились опять-таки бóльшими, чем для апреля и марта на тех же широтах. Все наши аномалии полностью объясняются, если предположить такую закономерность: в западной части Атлантического океана соленость, для одной и той же широты, выше, нежели в восточной. Этот закон неоспоримо вытекает из всех наших наблюдений.

Отсюда, однако, так же ясно видно, что для установления закона уменьшения солености с увеличением широты таблицы, подобные приведенным для Атлантического океана, нам мало помогут — именно потому, что наблюдения производились при различной долготе; поэтому остальные наши наблюдения мы уже не приводим в таком виде.

Если мы рассмотрим наблюдения, произведенные на пути туда (стр. 88—102) в Атлантическом океане и выберем те из них,

которые произведены с прибором № 1, то увидим, что, начиная с 50°25′ с. ш. и далее к югу, величина удельного веса растет, за небольшими исключениями, которые мы можем приписатъ случайностям или ошибкам наблюдений, и при 25°39′ с. ш. и 17°45′ долготы достигают максимума = 1.027979. Начиная отсюда, величина удельного веса вновь значительно падает и примерно между 7°28′ и 4°23′ с. ш., повидимому, достигает минимума. С этого места она опять быстро возрастает, что может быть приписано одновременному значительному продвижению на запад; при 20°11′ ю. ш. и 37°33′ долготы удельный вес достигает своего южного максимума, равного 1.028333. Отсюда он равномерно падает с возрастанием широты.

Если теперь обратиться к наблюдениям, проделанным в Атлантическом океане на обратном пути, то мы найдем по мере движения с юга на север увеличение значения удельного веса до южного максимума, лежащего между 15°58′ и 14°18′ ю. ш. и около 7° долготы; здесь удельный вес равен 1.02300. Далее идет опять понижение, правда, не совсем равномерное, так как мы одновременно продвигались на запад; однако все же можно заметить максимум, который будет находиться между 1°55′ и 3°22′ с. ш. Северный максимум опять-таки ясно выражен между 19°22′ и 21°45′ с. ш. и у 40° долготы, и его величина равна 1.028560. Начиная с этого максимума, удельный вес с увеличением широты равномерно падает.

Таким образом, по нашим двум переходам через Атлантический океан имеем:

Северный максимум при	25°39′	широты и 17°45′	долготы	= 1.027979
	20 34	„ „ 40 00	„	= 1.028550
Южный „ „	20 11	„ „ 37 33	„	= 1.028333
	15 8	„ „ 7 00	„	= 1.028000

Нельзя не видеть влияния более западного положения на величину максимума. Из наблюдений 1823 г. замечательно одно, именно от 6 декабря; мы имеем здесь:

5 декабря	при	34°38′	широты	и	51°3′	долготы	удельный	вес	=	1.026857
вечером, в 9 ч.	„	34 58	„	„	51 3	„	„	„	=	1.026743
6 декабря	„	37 24	„	„	52 3	„	„	„	=	1.025370
8 „	„	40 41	„	„	53 20	„	„	„	=	1.027468

Здесь значение удельного веса, полученное 6 декабря, чрезвычайно низко по сравнению со значениями, определенными как южнее, так и севернее. Причиной этому может быть не что иное, как река Ла-Плата, вода которой выносится так далеко в море. Мы думали, что она окажет влияние на вечернее показание 5 декабря, когда мы находились как раз против нее, однако, как видно из приведенных данных, ее течение уклоняется к югу.

Из наших наблюдений в Южном море определить южный и северный максимум труднее, так как наш курс по нему пролегал большею частью по долготе, а не по широте; однако не заметить их здесь нельзя. В южном полушарии максимум довольно ясно обозначается при 17°13′ широты и 169°6′ долготы, и его значение равно 1.02804, в северном он лежит между 18°59 и 23°33′ широты и около 196° долготы. 4 февраля 1825 г. он оказался также при 23°5′ широты и 157°53′ долготы, далее, 2 сентября 1825 г. он ясно определился при 21°59′ и 154°19′ долготы. Последнее, вероятно, более всего подходит к действительности: он примерно близок среднему из других наблюдений.

Таким образом, для Южного моря мы имели бы:

Северный	максимум	при	22°	широты	и	154°	долготы	= 1.027176
Южный	„	„	17	„	„	119	„	= 1.028034

Что касается влияния долготы, то, как показывают наши наблюдения с 13 февраля 1824 г. до 1 апреля (когда мы широту меняли мало, а долготу очень сильно), соленость в Южном море зависит от ее изменения весьма мало. Различия в значениях удельного веса здесь очень незначительны, и они, вероятно, являлись следствием все же имевшего место не-

большого изменения широты; сюда же относится южный максимум при 17°. В целом, по нашим наблюдениям, Южное море отличается меньшей соленостью, нежели Атлантический океан. В нем удельный вес лишь один раз достигает значения 1.028, в то время как в Атлантическом океане он часто превосходит эту величину. Этим объясняется и возрастание удельного веса в Индийском океане по мере продвижения с востока на запад (т. е. чем ближе мы подходим к Атлантическому океану), хотя широта тоже увеличивалась, так что до 35° ю. ш. никакого максимума не обнаруживалось. Если бы пересечь Индийский океан прямо с севера на юг или наоборот, то, конечно, так же как и в Атлантическом океане и Южном море, южный максимум выявился бы.

Из всего вышеизложенного можно сделать следующие общие выводы.

1. В Атлантическом океане солей содержится больше, нежели в Южном море; в Индийском океане, как соединяющем эти две большие водные массы, в части, прилегающей к Атлантическому океану, вода более солона, нежели в части, примыкающей к Южному морю, или в западной части более соленая, чем в восточной.

2. В обоих больших океанах имеются северный и южный максимумы солености. Северный отстоит от экватора дальше, нежели южный. Максимум между ними находится в Атлантическом океане в нескольких градусах севернее экватора в Южном море по всей вероятности имеет место то же, однако наши наблюдения его не обнаружили, так как в этих малых северных широтах Южного моря их было недостаточно.

3. В Атлантическом океане западная часть более солена, нежели восточная. В Южном море долгота, повидимому, не обусловливает различия в солености.

4. В Атлантическом океане удельный вес имеет наибольшую величину в северном максимуме, при 40° з. д. от Гринвича, и равен 1.02856. В Южном море удельный вес имеет

наибольшую величину в южном максимуме, при 119° в. д., и равен 1.028084.

Последнее значение является единственным наблюдением в Южном море, где удельный вес превысил величину 1.028.

5. От северного максимума к северу и от южного — к югу удельный вес с увеличением широты непрерывно уменьшается.

Встает вопрос: откуда возникают южный и северный максимумы; почему собственно нет максимума на самом экваторе, где удельный вес оказался, наоборот, значительно меньше, чем в районе максимумов? Для ответа на этот вопрос мы должны сначала выяснить, чем определяется соленость на поверхности. Преобладающее влияние на соленость оказывает испарение, и мы думаем, что им можно объяснить образование максимумов к северу и югу. А именно, испарение, в свою очередь, обусловливается солнечным теплом и большей или меньшей скоростью обмена воздушных слоев. Солнечное тепло на экваторе наиболее значительное, но там менее всего следует ожидать более быстрого перемещения воздушных слоев. Замечательно, что в Атлантическом океане область расположения минимума как раз совпадает с той областью, которой так боятся мореплаватели, именно с областью почти постоянного безветрия. Пары, поднимающиеся вследствие действия палящего солнца, остаются над водной поверхностью и препятствуют дальнейшему испарению.

Море теряет поэтому меньше своих водяных частиц, и поэтому вода здесь менее соленая, чем под 22° с. ш. и 18° ю. ш., где дуют свежие пассатные ветры; они уносят водяные пары, поднимающиеся под действием солнечного жара, который, как известно, мало уступает здесь экваториальному; таким образом освобождается место для вновь образующихся паров, и испарение происходит очень быстро. Отсюда и более высокая соленость столь быстро испаряющейся воды. Этим же вероятно объясняется и большее содержание солей в западной части Атлантического океана, ибо, как известно, по мере

приближения к африканскому побережью увеличивается и постоянство и распространение областей безветрия. В Южном море не обнаруживается увеличения безветрия по мере продвижения к востоку, и поэтому там влияние долготы на соленость столь незаметно.

ЕЖЕЧАСНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ БАРОМЕТРА В КАВИТЕ НА ОСТРОВЕ ЛЮСОН (14°34′ с. ш. и 239°9′ з. д. ОТ ГРИНВИЧА) ДЛЯ ОТЫСКАНИЯ ПЕРИОДОВ ЗАКОНОМЕРНОГО ПОДЪЕМА И ПАДЕНИЯ В ТЕЧЕНИЕ СУТОК

Наблюдения происходили в крепости Кавите, примерно в 6 туазах над поверхностью моря. Комната была со сводами, всегда прохладная, так как солнце не могло проникать сквозь ставни. Таким образом, температура ее была примерно постоянной днем и ночью; мы приводили высоты барометра для каждого ряда наблюдений к температуре, имевшей место при первом наблюдении. Поправка редко была больше чем на 1° С, настолько мало изменялась температура, и эта поправка делалась сразу после каждого наблюдения. К сожалению, мы позднее заметили в нашем журнале, что, особенно при последнем ряде наблюдений, мы забыли отметить температуру, на которую этот ряд исправлялся, так что мы были не в состоянии, как намеревались, привести все наблюдения к одной температуре. Однако из других произведенных наблюдений мы видим, что для этого последнего ряда можем принять в качестве средней температуры 25° С, на которую и поправлен этот ряд. Если даже вследствие этого абсолютные высоты будут определены не совсем точно, то на основной цели, а именно отыскании периодов подъема и падения, наше упущение не отзовется, так как каждый отдельный ряд наблюдений приведен к одной температуре, и поэтому отдельные наблюдения этой серии полностью сравнимы.

Наблюдения сведены в следующие таблицы, где высоты выражены в парижских линиях:

Часы наблюдений	Барометр, в парижских линиях
12 декабря, температура = 20°,5 С	
1 ч. 00 м. дня	339.00
15	338.99
30	338.88
45	338.80
2 00	338.75
15	338.73
30	338.73
45	338.65
3 5	338.58
15	338.55
30	338.52
45	338.50
4 00	338.55
15	338.55
30	338.55
45	338.55
5 00	333.55
15	388.55
30	338.55
45	338.55
6 00	333.55
15	338.55
40	333.55
55	338.55
7 ч. 55 м.	338.60
30	338.65
13 декабря, температура = 20°,8 С	
7 ч. 15 м. утра	338.88
30	338.86
45	339.06
8 00	339.17
15	339.16
30	339.23
45	339.20
9 00	339.20
15	339.22
30	339.17
45	339.14
10 00	339.08
15	339.03
30	339.00
1 50	338.28
2 5	338.19
20	338.17
35	333.05
50	338.02
3 5	338.10*
3 ч. 20 м. вечера	338.04
35	338.00
3 ч. 50 м.	338.00
4 5	333.00
20	333.00
35	338.00
4 50	338.00
5 5	338.00
20	333.00
35	338.10
50	338.14
14 декабря, температура = 20° С, дождь	
7 ч. 30 м. утра	337.50
40	337.51
8 00	337.51
15	337.50
30	337.50
45	337.55
9 00	337.53
15	337.53
30	337.52
45	337.39
10 00	337.45
15	337.37
30	337.31
11 ч. 00 м.	337.20
1 00	336.20

* Между 3 ч. 5 м. и 3 ч. 20 м. имел место очень сильный порыв ветра, продолжавшийся еще в 3 ч. 30 м.

Часы наблюдений		Барометр, в париж-ских линиях
15 декабря		
7 ч. 30 м. утра		338.43
	45	338.37
8	00	338.35
	15	338.30
	30	338.26
	45	338.26
9	00	338.65
	15	338.75
	30	338.67
	45	338.63
10	00	338.60
	15	338.55
	30	338.53
11	5	338.50
1	45	337.85
2	00	337.75
	20	337.67
	35	337.60
	50	337.55
3	5	337.55
	15	337.52
3 ч. 30 м. дня		337.50
	45	337.50
4	15	337.50
	30	337.50
	45.	337.52

Часы наблюдений		Барометр, в париж-ских линиях
5 ч. 05 м. вечера		337.50
	20	337.50
18 декабря		
7 ч. 15 м. утра		338.70
	45	338.75
8	15	338.75
	45	338.75
9	15	338.75
	45	338.75
10	15	338.70
	45	338.66
11	15	338.50
12 ч. 00 м. дня		338.40
	30	338.35
1	00	338.25
	30	338.04
2	5	337.99
	30	337.85
3	00	337.70
	30	337.67
4	00	337.67
	30	338.67
5	00	338.67
	30	337.67
6	00	337.67
	30	337.67

Часы наблюдений		Барометр в париж-ских линиях
7 ч. 00 м.		337.70
7 ч. 30 м. вечера		337.75
8	00	337.75
	30	337.80
9	5	337.95
9	40	338.35
10	00	338.35
	30	338.35
11	00	338.32
	30	338. 3
12	00	338.27
	30	338.22
1	00	338.11
	30	338.07
2	00	338.02
19 декабря		
7 ч. 20 м. утра		338.51
	40	338.50
8	10	338.50
	40	338.50
9	10	338.50
	40	338.50
10	10	338.48
	40	338.40
12 ч. 15 м. дня		338.00

Продолжение

Часы наблюдений	Барометр, в париж-ских линиях
1 ч. 00 м.	337.86
10	337.82
40	337.73
2 02	337.60
45	337.51
3 10	337.50
40	337.50
4 10	337.50
4 40	337.52
5 10	337.52
40	337.52
6 10	337.55
40	337.60
7 10	337.79
40	337.82
8 10	337.92
40	338.01
9 10	338.10
40	338.10
10 10	338.10
40	338.04
11 00	338.04

20 декабря

Наивысшее положение утром = 338.5

Наинизшее положение днем = 337.1

21 декабря

Часы наблюдений	Барометр, в париж-ских линиях
6 ч. 35 м. утра	338.00
45	338.00
7 15	337.90
45	337.92
8 15	338.02
45	338.05
9 15	338.10
45	338.03
10 15	338.00
12 ч. 30 м. дня	337.73
45	337.67
1 15	337.55
45	337.45
2 15	337.33
45	337.21
3 15	337.16
45	337.16
4 15	337.16
45	337.19
5 15	337.20
45	337.25
6 45	337.35
7 15	337.39
45	337.51
8 ч. 15 м.	337.59
45	337.71
9 15	337.83
45	337.89
10 15	337.94
45	337.93
11 15	337.90
45 ночи	337.84
12 15	337.75

22 декабря

Наивысшее положение утром = 338.35

Наинизшее положение днем = 337.55

С 22 на 23 декабря

Часы наблюдений	Барометр, в париж-ских линиях
1 ч. 45 м. ночи	338.00
30	337.90
2 00	337.80
30	337.73
3 00	337.71
30	337.67
4 00	337.67
30	337.67
5 00	337.67
30	337.79
6 00	337.79
30	337.84

Часы наблюдений	Барометр, в парижских линиях
7 ч. 00 м.	337.88
30	337.95
8 00	338.01
30	338.07
9 00	338.07
10 00	338.07
30	338.07
11 ч. 00 м. утра	338.05
30	337.98

24 декабря

Часы наблюдений	Барометр, в парижских линиях
7 ч. 15 м. утра	337.92
30	337.95
8 00	338.01
30	338.01
9 00	338.01
9 ч. 30 м. утра	338.01
10 00	338.01
30	338.01
11 00	338.00
30	337.91
2 ч. 00 м. дня	337.50
30	337.41

Часы наблюдений	Барометр, в парижских линиях
3 ч. 00 м.	337.35
30	337.32
4 00	337.32
30	337.32
5 00	337.32
30	337.32
6 00	337.32
30	337.32
7 00	337.36
30	337.45
8 00	337.59

25 декабря

Часы наблюдений	Барометр, в парижских линиях
12 ч. 00 м. ночи	338.08
30	338.05
1 00	338.02
30	337.90
2 00	337.85
30	337.78
3 00	337.73
30	337.73
4 00	337.73
30	337.71

Часы наблюдений	Барометр, в парижских линиях
5 ч. 00 м.	337.71
30	337.74
6 00	337.80
6 30	337.85
7 00	337.95
30	338.14
8 00	338.19
30	338.20
9 00	338.20

6 декабря

Часы наблюдений	Барометр, в парижских линиях
2 ч. 00 м. ночи	337.44
30	337.40
3 00	337.33
30	337.33
4 00	337.33
30	337.33
5 00	337.33
30	337.33
6 00	337.36
30	337.40

Из этих наблюдений выявляются следующие часы наивысшего и наинизшего стояния барометра:

Дата наблюдения	Максимум до полудня	Минимум после полудня	Максимум вечером	Минимум ночью
12 декабря		5 ч. 5 м.		
13	9 ч. 15 м.	4 50		
14	8 45			
15	9 15	4 00		
18	8 45	5 00	10 ч. 00 м.	
19	8 40	3 40	9 40	
21	8 45	3 45	10 15	
23	9 30			4 ч. 15 м.
24	9 15	5 00		
25	9 00			4 45
26				4 30
В среднем . . .	9 ч. 1.1 м.	4 ч. 28.6 м.	9 ч. 28.3 м.	4 ч. 30 м.

Из вышеприведенных наблюдений находим величину колебаний (в линиях).

Минимум до полудня	339.23;	338.7;	338.75;	338.5;	338.5;	338.06;	338.35;	338.01
Максимум после полудня	337.99;	337.5;	337.67;	337.5;	337.1;	337.16;	337.55;	337.32
Таким образом, колебания	1.24	1.2	1.08	1.0	1.4	0.9	0.80	0.69

Если из этих колебаний взять среднее, то оно = 1.04 линии.

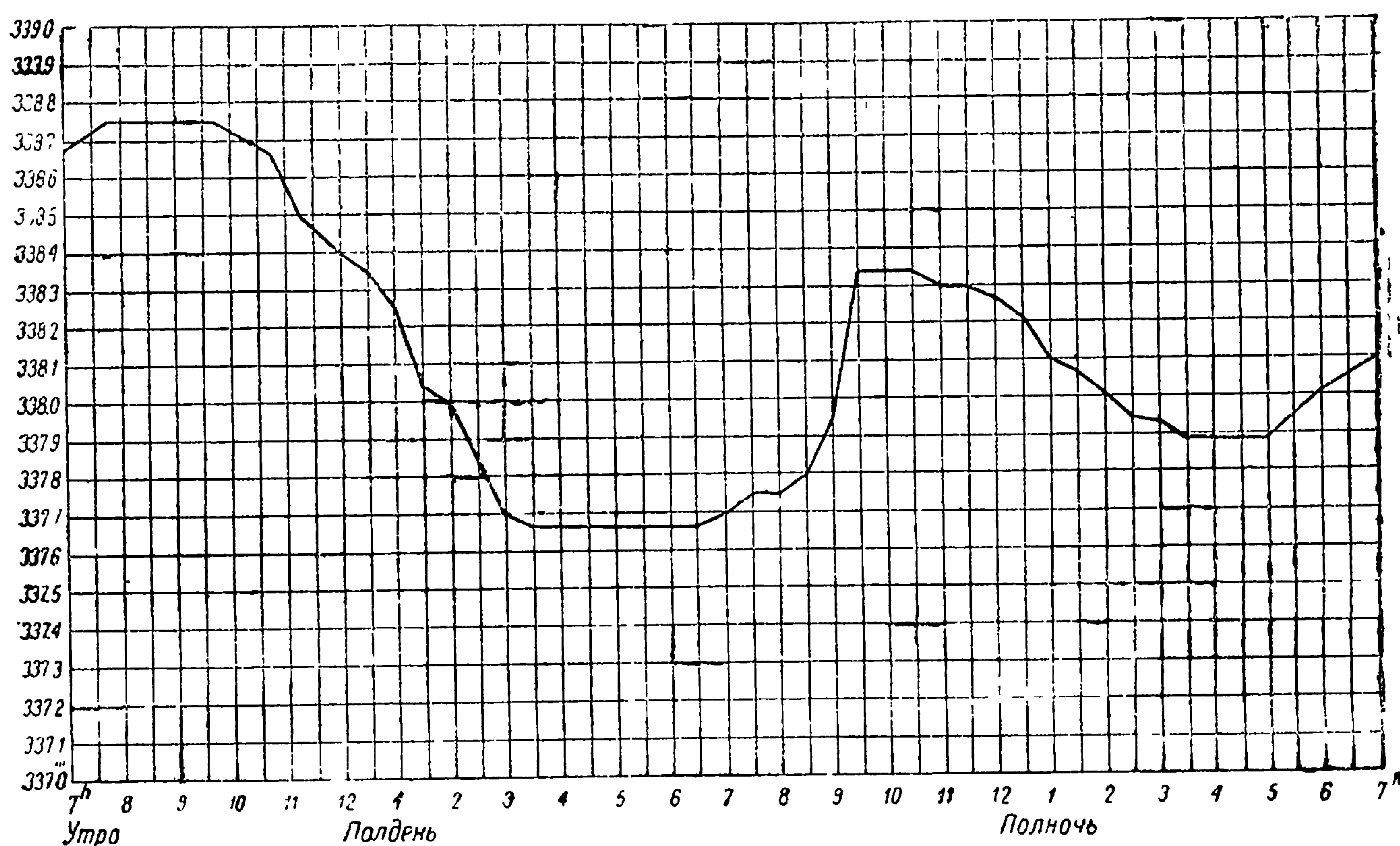
Минимум после полудня	337.67;	337.5;	337.16
Максимум вечером	338.35;	338.1;	337.94
Таким образом, колебания	0.68;	0.6;	0.78

Следовательно, среднее колебание = 0.687 линий.

Для колебания максимума вечером и минимума ночью у нас наблюдений нет.

Для колебаний от минимума ночью до максимума утром имеем (в линиях):

Минимум ночью	337.67; 337.72
Максимум утром	338.07; 338.20
Следовательно, колебания	0.40; 0.49
и среднее из двух	=0.445



Фиг. 10.

Из всех этих сопоставлений выводятся следующие окончательные результаты:

Барометр имеет максимум высоты в	9 ч.	1.1м.	утра				
Затем падает до	4	28.6	пополудни	в среднем	на	1.04	линии
Вновь поднимается	до 9	58.3	вечера	„	„	„ 0.687	„
Опять падает	„ 4	30.0	ночи	„	„	„ 0.998	„
И поднимается, наконец,	„ 9	1.1	утра	„	„	„ 0.445	„

На фиг. 10 графически изображено суточное колебание барометра, наблюдавшееся в Кавите, для чего был выбран ряд наблюдений за 18 декабря; для отсутствующих часов ночи

с 2 до 7 часов были взяты значения ряда наблюдений за 22—23 декабря, причем для связи с данным рядом значение высоты барометра для 2 часов, равное 337.8, было положено равным наблюденному в этот час значению второго ряда, 338.02, и остальные наблюдения исправлены в том же отношении.

СРАВНЕНИЕ СРЕДНЕЙ СУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Для отыскания этой средней температуры производилось в течение суток 4 наблюдения: одно — утром, за полчаса до восхода солнца, второе — через $1^1/_2$ часа после полудня, и еще 2 — на равных интервалах между последним послеполуденным и ближайшим утренним наблюдениями. Два первых дали экстремальные значения — наинизшую и наивысшую температуры. Для измерения температуры воды спускалось ведро, которое оставалось некоторое время в воде, а затем, наполненное подлежащей исследованию водой, быстро вытаскивалось, и сразу же в него погружался и отсчитывался термометр. Для измерения температуры воздуха и воды служил один и тот же термометр, так что погрешность его не имела существенного влияния на соотношение температуры воды и воздуха, ибо эти две температуры мало отличались друг от друга. Все же все температуры исправлялись по термометру, поверка которого описана в главе о температуре океана на глубине (стр. 42—46).

В приведенной далее таблице (стр. 120—123) нами введены следующие обозначения: 1, 2, 3 и 4 означают наблюдения, соответственно, утром, в полдень, вечером и ночью; M и m — средние значения температуры воздуха и воды из этих 4 наблюдений; $M - m$ — разность между этими средними, причем температура воды всегда вычитается из температуры воздуха; A. = означает Атлантический океан, S. — Южное море, Ch. — Китайское море, I. — Индийский океан. Широта и долгота — те, которые были в полдень; долгота считается все время к западу от Гринвича до 360°

Широта	Западная долгота, от Гринвича	Температура воздуха				
		1	2	3	4	*M*
N						
55°36′	140°56′	11°.4	14°.2	13°.5	11°.7	12°.70
51 8	154 36	10.1	11.1	10.6	10.0	10.425
49 27	178 49	10.1	11.3	11.1	10.3	10.700
49 23	185 54	9.6	12.9	13.0	9.9	11.350
48 54	5 57	12.4	14.6	13.9	13.7	13.650
47 33	199 29	3.4	5.0	4.1	4.8	[illegible].350
45 33	141 16	14.0	16.5	14.6	13.8	14.725
45 31	16 22	13.8	15.3	14.6	14.0	14.425
40 2	12 38	16.4	17.6	17.3	16.3	16.900
38 3	36 57	16.2	18.0	16.8	15.8	16.700
37 30	140 47	19.7	20.7	20.0	19.7	20.025
37 2	202 00	17.2	17.5	18.4	18.2	17.825
33 9	14 53	18.7	20.5	18.4	18.5	19.025
32 8	136 48	19.8	21.3	20.4	20.3	20.450
29 34	156 00	18.5	19.8	19.5	18.7	19.125
27 9	138 47	22.0	23.5	22.1	21.7	22.325
25 39	17 45	21.2	22.5	19.4	21.1	21.025
23 5	157 32	19.5	20.4	18.9	20.0	19.700
21 44	195 44	24.5	27.5	27.0	24.9	25.975
19 57	228 59	26.4	27.5	27.0	26.6	26.875
19 22	39 13	21.6	22.5	22.6	2.5	22.650
19 1	25 5	22.8	24.2	23.2	22.8	23.250
15 10	139 21	25.0	26.3	26.2	25.1	25.675
14 32	169 38	25.9	28.4	26.9	26.3	26.575
13 15	35 23	21.7	23.4	23.1	21.8	22.500
13 2	203 34	27.2	27.7	27.4	26.6	27.225
11 13	92 11	26.6	27.6	27.4	26.8	27.100
5 40	21 10	24.1	24.9	24.9	24.3	24.550
5 12	254 50	22.7	23.9	23.4	22.9	23.225
1 49	180 52	26.0	27.2	26.2	26.2	26.400
0 9	253 45	25.6	26.8	25.9	25.6	25.975

Температура воды					M−m	Примечание
1	2	3	4	m		
12°5	13°0	13°1	12°5	12°775	−0°075	S. Август.
10.2	10.3	10.3	10.2	10.250	+0.175	» »
10.2	10.3	10.7	10.2	10.350	+0.350	S. Июль.
9.6	10.6	11.6	9.6	10.200	+1.150	» »
13.8	13.8	14.3	14.3	14.050	−0.400	A. Сентябрь.
4.0	4.0	4.1	3.9	4.000	+0.350	S. Июнь.
13.8	14.7	14.7	13.6	14.200	+0.525	S. Август.
14.6	14.7	17.7	14.6	14.650	−0.225	A. Май.
17.5	18.6	18.1	16.8	17.750	−0.850	A. Сентябрь.
16.4	16.6	16.4	16.4	16.450	+0.250	A. Май.
20.0	20.0	20.3	20.0	20.750	−0.725	S. Август.
17.9	17.9	17.9	18.2	17.975	−0.150	» »
20.2	20.3	20.1	19.3	19.975	−0.950	A. Сентябрь.
21.5	21.5	21.4	21.6	21.500	−1.050	S. Август.
19.8	20.0	20.0	19.9	19.925	−0.800	S. Февраль.
22.4	23.2	22.9	22.4	22.725	−0.400	S. Сентябрь.
(18.7)	22.1	21.6	21.1	20.875	+0.150	A. Сентябрь.
21.2	21.2	21.0	21.2	21.150	−1.450	S. Февраль.
25.4	27.8	27.0	25.4	26.400	−0.425	S. Май.
27.0	27.4	27.4	27.0	27.200	−0.325	S. Октябрь.
22.8	22.4	22.7	22.8	22.675	−0.025	A. Апрель.
23.3	23.7	23.8	23.5	23.575	−0.225	A. Октябрь.
25.7	26.5	26.5	25.8	26.125	−0.450	S. Май.
26.5	26.9	26.9	26.5	26.700	+0.175	S. Сентябрь.
22.4	22.9	22.9	22.5	22.675	−0.175	A. Апрель.
27.6	27.6	27.6	27.4	27.550	−0.325	S. Октябрь.
27.4	27.6	27.6	27.4	27.500	−0.400	» »
25.0	25.8	25.6	25.1	25.375	−0.825	A. Октябрь.
23.5	23.9	23.8	23.5	23.675	−0.450	Ch. Январь.
26.7	27.0	27.1	26.8	26.900	−0.500	S. Апрель.
25.8	26.4	26.3	26.3	26.200	−0.225	Ch. Январь.

Широта	Западная долгота, от Гринвича	Температура воздуха				
		1	2	3	4	*M*
S						
1°35′	26° 10′	23°.4	25°.3	24°.0	23°.7	24°.100
2 20	22 18	24.8	26.4	26.1	25.0	25.575
8 2	175 33	25.4	28.3	27.1	27.1	26.975
11 12	12 33	23.9	25.5	24.8	24.3	24.625
14 16	34 114	23.5	24.5	23.9	22.9	23.700
14 48	144 39	25.0	27.5	27.3	26.0	26.450
16 1	136 13	25.4	27.4	26.5	25.4	26.175
16 24	273 5	24.2	25.0	24.4	24.4	24.500
16 55	148 52	25.5	28.5	25.5	26.3	26. 45
17 35	13 34	24.6	25.6	24.8	24.1	24.775
21 35	88 41	21.8	21.5	23.2	22.1	22.150
22 39	291 31	23.7	24.6	24.2	23.8	24.075
24 49	350 30	19.2	20.9	20.5	19.3	19.975
26 21	82 9	20.2	21.7	20.5	20.4	20.700
28 36	312 49	21.6	22.6	21.8	21.1	21.775
31 49	343 36	16.4	17.8	17.5	16.5	17.050
33 27	327 20	20.9	21.9	22.2	21.4	21.600
33 31	49 22	17.8	18.9	17.9	17.9	18.125
34 7	332 18	18.6	21.5	20.6	17.5	19.550
43 45	55 32	11.1	12.2	11.1	11.2	11.400
44 50	61 13	10.0	11.2	10.5	10.0	10.425
53 27	63 58	7.0	10.0	6.9	7.2	7.800
56 41	68 19	4.4	7.8	6.0	5.0	5.800
57 27	70 47	6.6	7.6	7.0	6.8	7.000

Если мы рассмотрим в этой таблице графу, озаглавленную $M - m$, или разности между температурой воды и воздуха, то увидим, что, начиная с 0 до 45° с. ш., за исключением 3 наблюдений из 30, средняя температура воздуха ниже, чем моря;

Продолжение

Температура воды					M — m	Примечание
1	2	3	4	m		
23°9	24°2	24°2	23°6	23°975	+0°125	A. Октябрь.
25.7	25.9	25.9	25.8	25.825	−0.250	A. Апрель.
28.0	28.4	28.4	28.4	28.300	−1.325	S. Апрель.
24.8	25.3	25.3	25.3	25.175	−0.550	A. Апрель.
23.3	23.6	23.5	23.4	23.450	+0.250	A. Октябрь
27.6	29.1	28.2	27.7	28.150	−1.700	S. Май.
26.8	27.7	27.3	26.8	27.150	−0.975	S. Февраль.
25.9	25.9	25.8	25.9	25.875	−1.775	I. Февраль.
27.4	28.7	28.7	27.4	28.050	−1.600	S. Март.
25.2	25.2	25.3	25.2	25.225	−0.450	S. Февраль.
22.4	22.3	22.3	22.6	22.450	−0.300	» »
24.8	25.0	25.0	24.7	24.925	+0.850	» »
19.8	20.2	20.0	19.8	19.950	+0.025	A. Май.
20.9	21.0	21.4	21.1	21.100	−0.400	S. Февраль.
22.5	23.6	23.4	22.3	22.950	−1.175	I. Февраль.
17.3	17.4	17.6	17.3	17.400	−0.350	A. Март.
21.7	22.3	22.3	21.5	21.950	−0.350	I. Март.
17.0	17.64	17.8	17.8	17.560	+0.650	A. Декабрь.
22.2	21.90	22.3	21.4	21.950	−2.400	I. Март.
9.8	10.5	10.2	9.9	10.100	+1.300	A. Декабрь.
10.6	11.0	11.1	10.7	10.875	−0.450	» »
7.3	6.8	6.9	7.4	7.100	+0.700	» »
7.9	9.0	8.6	8.1	8.400	−2.600	» »
6.6	6.3	6.5	6.9	6.575	+0.425	» »

с 45 до 55°, 5 наблюдений из 7 дают более высокую температуру воздуха, нежели моря. В южном полушарии 17 наблюдений (с 0 до 33° широты), за исключением 3, дают температуру моря выше, нежели воздуха; с 33 до 57° по данным

4 наблюдений море холоднее, а по данным 3 наблюдений — теплее, чем воздух. Мы поэтому можем принять за правило, что с 0 до 45° с. ш. и до 33° ю. ш. температура моря в среднем днем и ночью выше температуры воздуха; немногочисленные исключения во всех наших случаях не превышали 0°,25 и в большинстве обусловливались особенно высокой полуденной температурой воздуха. В одном из этих случаев, на 25° 39′ с. ш., необычайно низкая температура воды утром, вызвавшая отклонение, очевидно явилась следствием либо ошибки в наблюдении, либо какого-нибудь совсем особого обстоятельства. Вообще, вышеприведенное правило, как это видно из последнего столбца, распространяется на все месяцы года. На широтах выше 45° с. ш. или 33° ю. ш. температура выше то у воздуха, то у воды.

Поскольку наблюдения на широтах свыше 45° северной и 33° южной были все произведены в летние для этих мест месяцы, то из них нельзя сделать никаких обобщений о средней годовой температуре воды и воздуха; поэтому мы ограничиваемся следующим законом, явившимся результатом наших наблюдений.

В зоне от 45° с. ш. до 33° ю. ш. в среднем как за год, так и за отдельные месяцы и сутки температура воды на поверхности океана выше соответствующей температуры воздуха. За пределами этих широт средняя суточная температура колеблется: то воздух теплее воды, то наоборот.

То, что область, где вода имеет постоянно более высокую температуру, распространяется к северу до 45° широты, а к югу до 33°, не покажется странным, если рассматривать соотношение обеих средних температур воды и воздуха, как обусловленное средней годовой температурой местности. Известно, что на одной и той же широте в северном полушарии температура выше, нежели в южном.

Наивысшие средние суточные температуры получаются из таблицы следующие: в северном полушарии для воздуха 27°,225, для воды 27°,500, в южном полушарии для воздуха 26°,975, для воды 28°,300.

О СЖИМАЕМОСТИ РТУТИ

Определение сжимаемости ртути происходило посредством упомянутого в инструкции (стр. 16) элатерометра для ртути. Этот инструмент состоял из широкой термометрической трубки с выдутым внизу шариком, как у термометра, но верхний конец был открыт. Трубка наполнялась ртутью, поверх которой наносилась капля масла. Если этот инструмент для получения большого давления опустить в глубину моря, то масло, прилипая к стеклу, зафиксирует минимум объема, если даже ртуть затем опять расширится за этот предел. Если предварительно определить объем шарика по отношению к объему трубки, то на стенке трубки можно нанести деления, из которых каждое представляет определенную долю общего объема, только нужно сначала убедиться в одинаковости широты трубки по всей ее длине, а если она окажется неодинаковой, то учесть это обстоятельство и делить трубку на неравные части. Так и обстояло дело в нашем инструменте; каждое деление составляло 0.001 объема, и 0.0001 еще могла быть довольно точно определена наглаз. При опытах в глубине моря, естественно, должно быть обращено внимание и на температуру в глубине, так как этот прибор одновременно является и настоящим термометром. При 19° С ртуть в нашей трубке стояла на нулевом делении.

Если обозначить эту нормальную температуру T, температуру в глубине t, расширение ртути m, стекла n (оба значения на 1° С) и объем при температуре T — v, то имеем объем пространства при t

$$v[1-(T-t)n],$$

объем ртути при t

$$v[1-(T-t)m];$$

следовательно, изменение объема ртути от температуры

$$v[1-(T-t)n]-v[1-(T-t)m]=v(T-t)(m-n).$$

В наших опытах с батометром на 21° 14′ с. ш. и 196°.1′ долготы на глубине 914.9 туаза (стр. 74) мы нашли температуру внизу

$=2^{\circ}.44$, показание элатерометра $=3.1$ деления, т. е. 0.0031 объема, следовательно имеем

$$T=19;\quad t=2.44;$$

далее

$$n=0.0000274;\quad m=0.000185.$$

Таким образом, изменение объема ртути под влиянием тепла будет

$$v\cdot 16.56\cdot 0.000158=0.0026\,v.$$

Но так как в действительности при наблюдении оно оказалось $0.0031\,v$, то сжимаемость ртути при давлении, соответствующем 914.9 туаза, будет $0.0031-0.0026=0.0005$.

Если принять, что сжимаемость пропорциональна давлению, то для сжатия при давлении 1 атмосферы получим

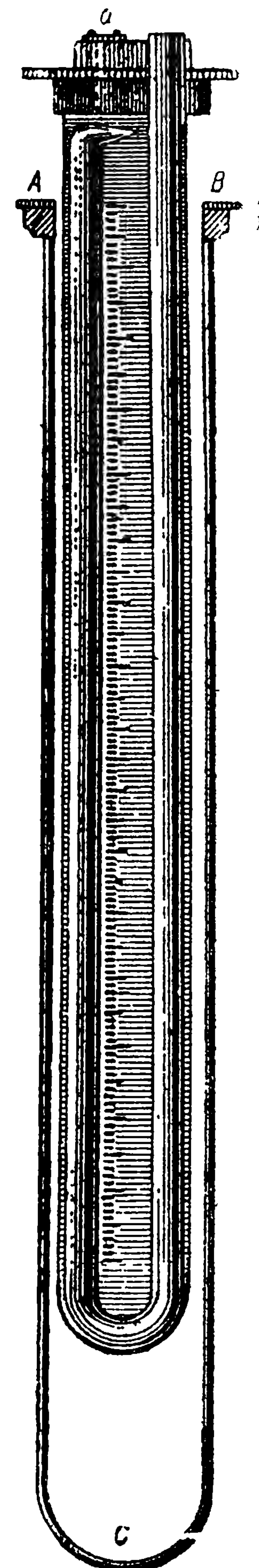
$$0.0000027,$$

т. е. почти втрое больше, чем это давалось Эрстедом (0.000001).

О СЖИМАЕМОСТИ ВОДЫ

Хотя мы по указанным ниже причинам и не достигли ничего с элатерометром для воды, все же приводим его описание: может быть оно пригодится какому-нибудь путешественнику позднее, поскольку его идея, принадлежащая статскому советнику Парроту, сама по себе правильна и удачна. Фиг. 11 дает нам изображение элатерометра в половину натуральной величины. Он состоит из изображенного на рисунке в разрезе цилиндра *ABC*, оканчивающегося внизу полушарием. На верхнем конце привинчена шкала с изогнутой, как показано на рисунке, стеклянной трубкой, у которой один (открытый) конец проходит сквозь герметическую привинченную крышку, а другой вытянут в виде открытого на остром конце горизонтально загнутого стержня. Трубка наполняется до острия ртутью,

а цилиндр — водой (причем воздушные пузыри должны быть тщательно удалены), и шкала с трубкой плотно завинчивается (для большей плотности в разъем кладется немного сала). Для того чтобы при завинчивании вода могла свободно выходить, в крышке просверлено тонкое отверстие, которое потом полностью закрывается привинчивающейся пластинкой *a*. Если наполненный таким образом прибор предоставить действию большого давления воды, то заключенная в цилиндре вода может быть сжата только за счет того, что некоторая порция ртути будет выдавлена из трубки в цилиндр через острие, и после извлечения прибора по количеству недостающей в трубке ртути можно судить о величине сжатия. Для этой цели на шкале нанесены деления (через $^1/_2$ линии, причем каждые $^1/_2$ линии падения ртути на обеих сторонах трубки соответствуют $^1/_{2673}$ количества сжимаемой воды, и поскольку можно еще наглаз определить $^1/_5$ деления, то точность соответствует $^1/_{13365}$ объема. Очевидно, что получаемые с помощью этого элатерометра результаты зависят от температуры; поэтому каждый опыт на глубине необходимо связывать с наблюдением по батометру, дающему температуру на этой глубине, и вводить необходимую поправку.



Фиг. 11.

Таково устройство нашего инструмента, и ясно, что идея его правильна и выполнима. Причина неудачи наших опытов заключалась в поспешности, с которой мы вынуждены были производить свое снаряжение. Для того, чтобы быстрее изготовить этот инструмент, мы сделали цилиндр из жести и думали, что толстый слой лака внутри достаточно предохранит его от амальгамирования вытекающей ртутью, од-

нако механик, повидимому, не всюду нанес достаточный слой лака, и после первого же опыта инструмент стал непригодным. Этот первый опыт был сделан одновременно с первым опытом по батометру, который мы могли рассматривать лишь как пробный; вследствие этого он был исключен из нашей таблицы (стр. 40—41).

О СОДЕРЖАНИИ КИСЛОРОДА В ВОЗДУХЕ НА РАЗЛИЧНЫХ ШИРОТАХ И ДОЛГОТАХ

В качестве эвдиометрического вещества служил фосфор; абсорбционное пространство представляла обыкновенная градуированная трубка, запаянная с одного конца и герметически закрывающаяся с другого конца с помощью винта и жировой прокладки, после того как в нее вкладывались 2 палочки фосфора. Для того чтобы быть уверенным в наличии испытуемого воздуха в трубке, перед опытом последняя наполнялась водой и затем опоражнивалась на палубе корабля, на открытом воздухе. Оставшийся на стекле тонкой слой воды давал нам то преимущество, что воздух имел постоянную влажность, а именно был полностью насыщен. Фосфор находился в трубке в течение 24 часов, и за это время его часто встряхивали, чтобы он пришел в соприкосновение со всеми слоями воздуха. После введения поправок на изменения температуры и барометрического давления, были получены следующие результаты:

Северная широта	Долгота, от Гринвича	Содержание кислорода
N		
39°15′	12°48′	20.71%
63 20	14 6	21.56
25 39	17 45	21.38
16 23	26 27	20.44
5 45	21 10	21.12

Северная широта	Долгота, от Гринвича	Содержание кислорода
S		
32°37′	47°19′	22.49%
56 43	69 23	20.86
19 17	97 8	21.20
N		
20°34′	196 6	21.22
46 42	200 14	21.13

После этого последнего опыта эвдиометр еще часто наполнялся, однако поглощение шло лишь до 17—18%, что указывало на порчу фосфора, и мы совсем опускаем результаты этих опытов.

В приведенной таблице можно найти некоторую неравномерность, а именно: высокое содержание кислорода при 32° 37′ широты, равное 22.49%. Однако было бы слишком поспешным отнести это только за счет ошибки при манипуляциях с прибором или при наблюдениях, поскольку одинаковость содержания кислорода во всех зонах и для всех морей еще не доказана.

Широко распространяющееся влияние растительности и гниения на содержание кислорода в воздухе должно, конечно, в том или ином случае обнаруживаться и с помощью эвдиометра и может быть приписано кажущимся аномалиям, как, например, имеет место в упомянутом случае. Во всяком случае эти опыты заслуживают того, чтобы произвести их во всех морях в возможно большем количестве.

Предусмотренные в инструкции опыты по определению содержания в воздухе углекислоты, к сожалению, не могли быть произведены, так как антракометр при перевозке в Петербург был разбит, и вследствие нашего отъезда, последовавшего непосредственно за этим, не смог быть заменен. Два аналогичных инструмента, посланные нам вслед с оказией статским советником Парротом, к сожалению, нас не достигли.

О СОЛЕНОСТИ ВОЗДУХА НАД МОРЕМ

Для того чтобы выяснить, содержит ли воздух над морем частицы соли, в бутылке сильно и долгое время взбалтывалось небольшое количество дистиллированной воды вместе с находившимся там воздухом; затем посредством некоторого количества азотнокислого серебра определялось, забрала ли вода из воздуха частички соли. В большинстве случаев при этом происходило небольшое помутнение, в некоторых же отдельных случаях оно было так слабо, что ускользало от зрения. Эта соль, однако, вряд ли переносилась в воздух испарениями; скорее можно предполагать, что мелкая водяная пыль, попадающая в воздух при сильном ветре, испаряется, прежде чем упадет обратно, и остающиеся мельчайшие частички соли продолжают парить в воздухе.

БАРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ

1. Авачинская сопка на Камчатке

Определение высоты могло быть произведено только посредством отдельных наблюдений; 5 из них послужили нам для определения высоты:

	Показание барометра, в линиях	Температура °R
1. В 12 ч. в день отъезда, на берегу моря	336.0	110
2. „ 12 ч. на 3-й день путешествия, у подножия конуса	271.0	6. 9
3. „ 3 ч. 13 м. того же дня, у дымящегося кратера	251.2	6. 4
4. „ 4 ч. 30 м. того же дня на вершине конуса	249.5	2. 4
5. „ 10 ч. 00 м. на 5-й день путешествия	336.5	11. 0

В течение всех 5 дней погода была одинаково пасмурная и по большей части дождливая. Из первого и второго наблюдений, произведенных в одинаковое время дня, мы вычислили

сначала высоту подошвы собственно вулканического конуса и с учетом температурной поправки для воздуха по формуле Лапласа определили, что она равна 906.5 туаза. Из второго и третьего наблюдений высота от подошвы до кратера получилась равной 316.6 и от кратера до вершины 22.4 туаза. Таким образом, мы имеем:

До подошвы	906.5	туаза
От „ до кратера	316.6	„
„ кратера „ вершины	22.4	„
Следовательно, высота вершины	1245.5	туаза = 7473 парижских фута

Из комбинации четвертого и пятого наблюдений она получается равной 1250.8 туаза = 7504.8 фута. Однако первое значение очевидно подходит к действительности ближе.

2. Гора Эджекумб на острове Ситхе

Приведенные к 0° барометрические высоты будут:

	Барометрическая высота, в миллиметрах	При температуре, °R
1. В 6 ч. утра на море	760.4	9.2
2. „ 12 ч. 5 м. дня на вершине	631.2	10.8
3. „ 6 ч. вечера на море	757.6	14.4

Вследствие сильного ветра показания барометра пришлось отсчитать под защитой скалы на 40 футов ниже вершины.

Из других наблюдений выяснилось, что когда температура в пасмурный день, каким был день опытов, в 6 часов вечера была 14°.4, то в полдень она была около 15°. Наблюдения внизу, наверху и снова внизу производились в 6, 12.5 и 6 часов, так что все 3 наблюдения приходились почти в середине между наивысшим и наинизшим показаниями барометра в течение дня, если принять, что они, как в европейской части при такой же широте, наблюдаются в 9 и 3 часа; следовательно, показания барометра в 6, 12.5 и 6 часов на уровне моря должны быть

одинаковыми. Разница, имевшая место в наших наблюдениях, должна быть отнесена за счет неравномерности показания барометра, что тоже весьма вероятно вследствие изменения погоды, которая за день до опытов была совершенно ясной, в день наблюдений была пасмурной, а на следующий день шел дождь.

Мы не намного ошибемся, если за действительное показание барометра в полдень примем среднее из первого и третьего; таким образом, имеем приведенную к 0 высоту барометра:

В 12 ч.	на море барометр показывал 759.0 мм,	$T = 15°.0$ R
	в 40 футах ниже вершины — 681.1,	$T = 10.6$

Следовательно, высота равна 906.3 метра + 40 футов = = 2759 парижск. футов, причем поправка на температуру воздуха не упущена.

3. Пирамидальная гора Ситха в Ново-Архангельском заливе

Данные измерений	Барометр показывал	Температура, °R
1. В 8 ч. утра на море	340.5 линии	10.8
2. „ 12 ч. на первой вершине (Крестовая гора)	310.75 „	9.5
3. „ 2 ч. на наивысшей вершине	301.5 „	7.8
4. „ 7 ч. на море	340.1 „	11.9

Отсюда вычисление дает:

До Крестовой горы	376	туазов
Оттуда до вершины пирамиды	122	„
Высота пирамиды над уровнем моря	498	туазов
Вычисление по одной станции до пирамиды дало бы, из 1 и 3, высоту	507.4	туаза
„ „ „ 3 и 4 „	504.9	„

Если взять среднее из 3 значений, то высота = 503.4 туаза, или 3020.4 парижск. фута.

ПРИЛОЖЕНИЕ

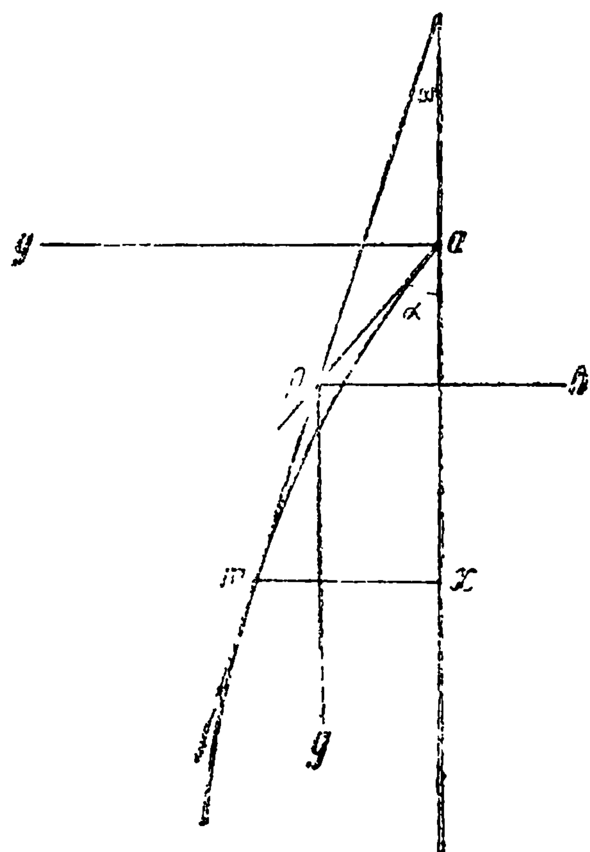
О кривой линии, которую образует висящее в текущей воде свинцовое грузило

При обработке предыдущих наблюдений над температурой моря на глубине, которые я производил во время моего морского путешествия под командованием капитана Коцебу, мне встретилась необходимость отыскать уравнение кривой, которую образовал трос моего батометра, когда последний висел не вертикально, а, благодаря движению корабля вперед, давал некоторый угол с вертикалью. Однако решение этой задачи для моих тогдашних наблюдений не имело никакого практического значения, поскольку угол во время опыта все время изменялся, из чего следует, что корабль не имел равномерного движения вперед в каком-либо направлении, а бросался волнами то туда, то сюда. Тогда я отложил решение этой задачи на более позднее время и рассмотрел тогда в примечании лишь гипотетический случай, а именно, каким образом можно, в предположении, что трос с подвешенным на нем цилиндром образует прямую линию, найти по углу скорость движения корабля, или, иными словами, какая скорость соответствует углу, который образует с вертикалью помещенный в потоке стержень, нагруженный внизу тяжелым цилиндром; эта задача, по моему мнению, может иметь большое практическое применение в конструкции измерителя скорости потока.

В настоящем приложении я продолжил теоретическое рассмотрение поставленной задачи, и хотя при спрямлении кривой

линии я встретился с тремя уравнениями высшего порядка для определения трех неизвестных величин, но их можно решить приближенно, введя условие, что скорость хода корабля известна и что она является величиной очень малой; оба условия допустимы с точки зрения практического применения.

В упомянутом примечании (стр. 52—57; см. стр. 55) находится доказательство положения, что: *действие напора воды на окружность круга равно действию на прямую, которая расположена перпендикулярно направлению течения и длина которой равна длине четвертой части окружности.*



Фиг. 12.

Установив это положение, мы можем приступить к разрешению самой нашей задачи.

Сперва я отмечу, что совершенно безразлично, примем ли мы корабль находящимся в движении, а воду в состоянии покоя, или, наоборот, будем рассматривать точку, с которой опущено свинцовое грузило, как неподвижную, а воду — движущейся в противоположном направлении. В последующем я буду придерживаться последнего представления как более простого и наглядного. Итак, представим себе трос, имеющий известный удельный вес, с прикрепленным к нему на конце цилиндром, размеры и удельный вес которого нам также известны. Пусть и тот и другой опущены в поток, имеющий всюду одинаковую скорость.

На фиг. 12 am представляет кривую, которую образует трос, висящий в потоке, движущемся в направлении от h к p. В качестве оси абсцисс возьмем прямую ax, а оси ординат — ay и начало координат поместим в точке a. Угол α дается нам непосредственно наблюдениями. Если мы рассмотрим отрезок троса s, от a до точки m, имеющей координаты x и y, то к нему можем применить теорему веревочных многоугольников, что

отрезок троса s будет находиться в равновесии, если все действующие на него силы, будучи перенесены в одну точку параллельно самим себе, взаимно уравновешивают друг друга. Следовательно, если мы проведем в точках a и m касательные ap и pm и перенесем в точку p все действующие на s силы параллельно им самим, то точка p должна быть в равновесии. Но на отрезок am действует, кроме напряжений a и m, вес отрезка am в направлении pg и поток воды на высоте x в направлении ph. Обе силы должны быть выражены в единицах веса. Пусть радиус поперечного сечения троса равен r, удельный вес троса по отношению к морской воде равен m, скорость потока равна v; тогда мы имеем:

Вес троса длиной s в воде равен $r^2\pi(m-1)s=ps$, где за единицу веса принят вес такого количества морской воды, которое по объему равно кубу единицы длины. Поскольку здесь приходится иметь дело только с отношением обеих сил (веса троса и давления воды), то единица веса не играет роли, но при определении обеих сил она должна быть одна и та же.

Давление воды, протекающей со скоростью v, может быть по известному закону Торричелли выражено как $\frac{v^2}{2g}$, где g — удвоенный путь, проходимый в первую секунду свободного падения. Полное значение величины давления воды, действующего на трос на глубине x, будет, согласно вышеприведенному закону для водяного давления на окружность:

$$\frac{v^2}{2g}\frac{\pi r}{2}x=qx.$$

Итак, в точке p, в которую мы перенесли все силы, действуют:

натяжение	a	в направлении		pa,
»	b	»	»	pm,
сила	ps	»	»	pg,
»	qx	»	»	hp.

Все эти силы должны взаимно уравновешиваться. Из них p и q нам известны, a и b — не известны.

Если разложить эти 4 силы на 2 направления по координатным осям, то, принимая во внимание знаки направлений, получим 2 следующие силы:

действующая в направлении x $ps + b\cos\omega - a\cos\alpha$;
» » » y $qx + b\sin\omega - a\sin\alpha$.

Обе силы, в случае равновесия, должны, согласно известному закону статики, равняться нулю; поэтому, если вместо $\cos\omega$ и $\sin\omega$ вставить их значения $\frac{dx}{ds}$ и $\frac{dy}{ds}$, то получим следующие основные уравнения:

$$\left.\begin{aligned} ps + b\frac{dx}{ds} - a\cos\alpha = 0, \\ qx + b\frac{dy}{ds} - a\sin\alpha = 0. \end{aligned}\right\} \quad (A)$$

Если определим b из обоих уравнений и приравняем оба значения, получим

$$\frac{a\cos\alpha - ps}{dx}\,ds = \frac{a\sin\alpha - qx}{dy}\,ds,$$

откуда

$$(a\cos\alpha - ps)\,dy = (a\sin\alpha - qx)\,dx.$$

Поскольку нам важно найти не столько уравнение кривой, сколько длину ее дуги, то мы исключим dy из вышеприведенного уравнения, положив $dy = \sqrt{ds^2 - dx^2}$; деля обе части на $a\cdot\sin\alpha - ps$[7] и возводя все уравнение в квадрат, получим

$$ds^2 - dx^2 = \frac{(a\sin\alpha - qx)^2}{(a\cos\alpha - ps)^2}\,dx^2.$$

Обозначим в нашем уравнении для простоты

$$a\sin\alpha - qx = t; \quad a\cos\alpha - ps = z,$$

так что

$$dx = -\frac{dt}{q}; \quad ds = \frac{dz}{p},$$

получим

$$\frac{dz^2}{p^2} - \frac{dt^2}{q^2} = \frac{t^2}{z^2}\frac{dt^2}{q^2},$$

откуда, после соответствующего приведения

$$qz\,dz = \sqrt{t^2 + z^2}\,p\,dt.$$

Для разделения переменных делаем подстановку $z = \xi t$, где ξ — некоторая переменная величина; получаем $dz = \xi dt + t d\xi$; подставив вместо z и dz их значения, имеем:

$$q\xi t\,(\xi dt + t\xi) = \sqrt{t^2 + \xi^2 t^2}\,p dt;$$

сократив на t и раскрывая скобки, получаем

$$q\xi^2\,dt + q\xi t\,d\xi = \sqrt{1 + \xi^2}\,p dt,$$

или окончательно

$$\frac{dt}{t} = \frac{q\xi\,d\xi}{p\sqrt{1+\xi^2} - q\xi^2}.$$

Для того чтобы избавиться от иррациональностей, применим подстановку $\sqrt{1+\xi^2} = v$, откуда $\xi = \sqrt{v^2 - 1}$ и $d\xi = \frac{vdv}{\sqrt{v^2-1}}$; таким образом наше уравнение преобразуется в следующее:

$$\frac{dt}{t} = \frac{qvdv}{pv - q(v^2-1)} = \frac{qvdv}{q + pv - qv^2},$$

и длина нашей кривой выразится уравнением

$$\log t = \int \frac{qvdv}{q + pv - qv^2} + \log A,$$

где после интегрирования v и t должны быть выражены через z и x.

Интегрирование трехчленов легко может быть сведено к интегрированию двучлена посредством подстановки $v = \zeta + \frac{p}{2q}$; тогда интеграл преобразуется в

$$\int \frac{\left(q\zeta - \frac{p}{2}\right) d\zeta}{q + \frac{p^2}{4q} - q\zeta^2};$$

если в числителе произвести умножение, то данный интеграл разбивается на два, которые могут быть интегрированы обычным способом. Если в найденное уравнение вместо ζ вставить его значение $= v - \frac{p}{2q}$, то окончательно получим

$$\log t = \log A - \frac{1}{2}\log(q + pv - qv^2) +$$
$$+ \frac{p}{\sqrt{4q^2 + p^2}} \log \frac{\sqrt{4q^2 + p^2} - p + 2qv}{2\sqrt{q(q + pv - qv^2)}}.$$

Но $v = \sqrt{1 + \xi^2}$, а $\xi = \frac{z}{t}$; тогда $v^2 = \frac{t^2 + z^2}{t^2}$ и $v = \frac{\sqrt{t^2 + z^2}}{t}$;

и если для краткости обозначить $\frac{p}{\sqrt{4q^2 + p^2}} = P$, то

$$\log t = \log A - \frac{1}{2}\log\left(\frac{pt\sqrt{t^2 + z^2} - qz^2}{t^2}\right) +$$
$$+ P\log\left(\frac{t\sqrt{4q^2 + p^2} - pt + 2q\sqrt{t^2 + z^2}}{2\sqrt{\left(pt\sqrt{t^2 + z^2} - gz^2\right)q}}\right). \qquad \text{(B)}$$

Для определения постоянной $\log A$ мы имеем условие, что при $x = 0$, s тоже должно равняться нулю; но так как выше мы производили следующие замены:

$$a \cdot \sin\alpha - qx = t \quad \text{и} \quad a \cdot \cos\alpha - ps = z,$$

то, следовательно, при $x = 0$ и $s = 0$ эти уравнения превращаются в $a \cdot \sin\alpha = t$ и $a \cdot \cos\alpha = z$.

Поскольку $a^2\sin^2\alpha + a^2\cos^2\alpha = a^2$, то наше только что выведенное основное уравнение преобразуется в следующее:

$$\log(a\sin\alpha) = \log A - \frac{1}{2}\log\left(\frac{p\sin\alpha - q\cos\alpha}{\sin^2\alpha}\right) +$$
$$+ P\log\frac{\sin\alpha\sqrt{4q^2 + p^2} - p\sin\alpha + 2q}{2\sqrt{(p\sin\alpha - q\cos^2\alpha)q}},$$

откуда

$$A = a\,\frac{\sin\alpha\,\sqrt{p\sin\alpha - q\cos^2\alpha}}{\sin\alpha} : \left(\frac{\sin\alpha\,\sqrt{4q^2+p^2} - p\sin\alpha + 2q}{2\sqrt{(p\sin\alpha - q\cos^2\alpha)\,q}}\right)^P =$$

$$= a\left(\frac{2\sqrt{q}}{\sin\alpha\,\sqrt{4q^2+p^2} - p\sin\alpha + 2q}\right)^P \times \left(\sqrt{p\sin\alpha - q\cos^2\alpha}\right)^{P+1} = a\cdot B,$$

где

$$B = \left(\sqrt{p\sin\alpha - q\cos^2\alpha}\right)^P \left(\frac{2\sqrt{q}}{\sin\alpha\,\sqrt{4q^2+p^2} - p\sin\alpha + 2q}\right)^{P+1},$$

т. е. является величиной неполностью известной, так как все величины известны, кроме v в выражении q; $P = \frac{p}{\sqrt{4q^2+p^2}}$ также неизвестно.

Наше общее уравнение (В), если от логарифмов перейти к числам, будет выглядеть следующим образом:

$$t = aB\left(\frac{t\sqrt{4q^2+p^2} - pt + 2q\sqrt{t^2+z^2}}{2\sqrt{q}\sqrt{pt\sqrt{t^2+z^2} - qz^2}}\right)^P \frac{1}{\sqrt{pt\sqrt{t^2+z^2} - qz^2}},$$

или окончательно

$$\left(pt\sqrt{t^2-z^2} - qz^2\right)^{\frac{P+1}{2}} = \\ = aB\left(\frac{t\sqrt{4q^2+p^2} - pt + 2q\sqrt{t^2+z^2}}{2\sqrt{q}}\right)^P \qquad \text{(C)}$$

В этом уравнении, кроме x и s (в значениях z и t), содержатся еще две неизвестных величины, которые необходимо определить, чтоб определить x через s, а именно: напряжение a, заключенное в значениях t и z, и скорость потока v, заключенную в коэффициентах q, B и P.

Для определения их мы, однако, можем привести еще два уравнения. А именно, если в значении z вместо s подставить всю длину взятого троса, или принять за s всю эту длину, то b будет напряжение в самой нижней точке, которое определится подвешенным внизу грузом и давлением воды на этот

груз. Если взять здесь, как в случае нашего батометра, цилиндр радиусом P, высотой λ и удельным весом n, то, очевидно, что направление последнего элемента троса определится только им, т. е. оно должно образовать с осью цилиндра одну прямую линию (поскольку последний предполагается однородным или, по крайней мере, состоящим из концентрических однородных слоев). Если мы на нашем рисунке мысленно представим себе цилиндр висящим в точке m, то эта ось будет составлять с осью x обозначенный наверху угол ω. Но вес цилиндра

$$=\rho^2\pi(n-1)\lambda=k,$$

поэтому составляющие его будут: в направлении оси

$$\rho^2\pi(n-1)\lambda\cos\omega=k\cos\omega,$$

перпендикулярно оси

$$\rho^2\pi(n-1)\lambda\sin\omega=k\sin\omega.$$

Давление воды на этот косо висящий цилиндр двояко: во-первых, на боковую поверхность и, во-вторых, — на верхнее основание.

Выражения для этих давлений следующие: давление на боковую поверхность в направлении потока

$$\frac{v^2}{2q}\frac{\pi r}{2}\lambda\cos\omega=f\cos\omega.$$

Давление на поверхность основания

$$\frac{v^2}{2g}r^2\pi\sin\omega=h\sin\omega,$$

где

$$f=\frac{v^2}{2g}\frac{r\pi}{2}\lambda \quad \text{и} \quad h=\frac{v^2}{2g}r^2\pi.$$

Если эти обе силы разложить по двум взаимно перпендикулярным направлениям — в направлении оси цилиндра и перпендикулярно ему, — то получим следующие составляющие:

первую, спроектированную на направление оси $= f\cos\omega\sin\omega$,
на направление, перпендикулярное оси $= f\cos^2\omega$,
вторую, спроектированную на направление оси $= h\sin^2\omega$,
на направление, перпендикулярное оси $= h\sin\omega\cos\omega$.

Таким образом, для напряжения троса в точке m как от веса цилиндра, так и от давления воды на последний, имеем:

$$b = k\cos\omega + f\cos\omega\sin\omega + h\sin^2\omega.$$

Обе другие силы, обусловленные тяжестью и давлением воды и действующие в направлении, перпендикулярном оси, направлены в противоположные стороны и уравновешивают друг друга, так что

$$k\sin\omega = f\cos^2\omega + h\cos\omega\sin\omega.$$

Ранее, на стр. 136 были приведены уравнения

$$ps + b\cos\omega - a\cos\alpha = 0,$$

откуда

$$\cos\omega = \frac{a\cos\alpha - ps}{b} = \frac{z}{b};$$

$$qx + b\sin\omega - a\sin\alpha = 0,$$

откуда

$$\sin\omega = \frac{a\sin\alpha - qx}{b} = \frac{t}{b};$$

если оба уравнения возвести в квадрат и сложить, то, поскольку

$$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1,$$

$$1 = \frac{z^2}{b^2} + \frac{t^2}{b^2},$$

находим

$$b = \sqrt{z^2 + t^2}, \quad \text{а} \quad \cos\omega = \frac{z}{\sqrt{z^2 + t^2}} \quad \text{и} \quad \sin\omega = \frac{t}{\sqrt{z^2 + t^2}}.$$

Если теперь в наши уравнения вставить полученные значения b, $\cos\omega$ и $\sin\omega$, то они примут вид

$$\sqrt{z^2+t^2}=k\frac{z}{\sqrt{z^2+t^2}}+f\frac{zt}{z^2+t^2}+h\frac{t^2}{z^2+t^2}; \qquad \text{(D)}$$

$$k\frac{t}{\sqrt{z^2+t^2}}=f\frac{z^2}{z^2+t^2}+h\frac{zt}{z^2+t^2}. \qquad \text{(E)}$$

Таким образом, для определения неизвестных величин a, v и s мы имеем три уравнения, (C), (D) и (E), которые мы даем здесь, предварительно приведя уравнения (D) и (E) к более удобному виду:

$$\left(pt\sqrt{z^2+t^2}-qz^2\right)^{\frac{P+1}{2}}=aB\left(\frac{t\sqrt{4q^2+p^2}-pt+2q\sqrt{t^2+z^2}}{2\sqrt{q}}\right)^{P}; \qquad \text{(C)}$$

$$(z^2+t^2)^{\frac{3}{2}}=kz\sqrt{z^2+t^2}+t(fz+ht); \qquad \text{(D)}$$

$$kt\sqrt{z^2+t^2}=z(fz+ht). \qquad \text{(E)}$$

Неизвестные величины содержатся в t, z, q, f, h, B и P. Но если мы представим себе, что v дано, так как скорость корабля легко определить известным способом, то для определения a и s нам потребуются лишь уравнения (D) и (E). Но и они являются уравнениями высшего порядка и обычным образом не решаются. Однако поскольку опыты с батометром во всяком случае могут быть произведены лишь при крайне малом ходе корабля, то угол ω, образуемый висящим в воде прибором с вертикалью, очень мал; поэтому высшими степенями $\sin\omega$ можно пренебречь, оставив только $\sin\omega$; тогда и $\cos\omega = \sqrt{1-\sin^2\omega}=1-\frac{1}{2}\sin^2\omega$ может быть принят равным единице. Если мы теперь вновь напишем наши уравнения

$$b \text{ или } \frac{z}{\cos\omega}=k\cos\omega+f\cos\omega\sin\omega+h\sin^2\omega$$

и

$$k\sin\omega=f\cos^2\omega+h\cos\omega\sin\omega$$

и положим в них $\sin^2\omega = 0$, $\cos\omega = 1$, то получим

$$z = k + f\sin\omega; \quad k\sin\omega = f + h\sin\omega,$$

или, если вместо $\sin\omega$ подставить его значение $= \frac{t}{\sqrt{t^2+z^2}}$, то эти уравнения преобразуются в следующие:

$$(z-k)^2(t^2+z^2) = f^2t^2;$$

$$(k-h)^2t^2 = f^2(t^2+z^2).$$

Из второго уравнения

$$t^2 = \frac{f^2z^2}{(k-h)^2-f^2};$$

подставляем эту величину в первое уравнение

$$(z-k)^2 \cdot \frac{[f^2+(k-h)^2-f^2]}{(k-h)^2-f^2}z^2 = \frac{f^4z^2}{(k-h)^2-f^2};$$

после сокращения и извлечения из обеих частей корня, имеем

$$(z-k)(k-h) = f^2,$$

откуда

$$z = \frac{f^2+k(k-h)}{k-h} = \varphi.$$

Если вместо z вставить его значение, равное $a\cdot\cos\alpha - ps$, то

$$a = \frac{\varphi+ps}{\cos\alpha}.$$

Но $t = \frac{f^2}{\sqrt{(k-h)^2-f^2}}$; отсюда, если вместо t и z подставить их выражения

$$a\sin\alpha - qx \quad \text{и} \quad a\cos\alpha - ps,$$

$$a\sin\alpha - qx = \frac{f(a\cos\alpha - ps)}{\sqrt{(k-h)^2-f^2}},$$

или, если обозначить $\sqrt{(k-h)^2-f^2} = \beta$ и решить это уравнение относительно a, то

$$a = \frac{\beta qx - fps}{\beta\cdot\sin\alpha - f\cdot\cos\alpha}.$$

Сравнивая это выражение для a с предыдущим, имеем

$$\frac{\varphi + ps}{\cos\alpha} = \frac{\beta q x - f p s}{\beta \cdot \sin\alpha - f \cdot \cos\alpha},$$

откуда после соответствующих преобразований

$$x = \frac{\varphi\beta \cdot \operatorname{tang}\alpha - \varphi f + \beta p s \cdot \operatorname{tang}\alpha}{\beta q},$$

или, если подставить вместо φ и β их значения

$$\frac{f^2 + k(k-h)}{k-h} \quad \text{и} \quad \sqrt{(k-h)^2 - f^2},$$

то

$$x = \frac{f^2 + k(k-h)}{q(k-h)} \cdot \operatorname{tang}\alpha -$$

$$- \frac{f[f^2 + k(k-h)]}{q(k-h)\sqrt{(k-h)^2 - f^2}} + \frac{sp \operatorname{tang}\alpha}{q}.$$

Добавление. Порученные нам наблюдения магнитного наклонения были нами также поставлены, но мы воздерживаемся приводить их здесь, так как хотя они и делались с помощью вообще отлично выполненного 10-дюймового инклинатора Доллонда, но все же не имеют достаточной точности. Причина этого, которая стала нам вполне ясна после нашего возвращения, лежала в том, что конструированная по способу Майера стрелка с привинченными шариками была слишком слабо закалена, так что в течение опытов меняла свою интенсивность.

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ НАПРАВЛЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ТОКОВ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ



Доложено 29 ноября 1833 г. [1]

В своих „Экспериментальных исследованиях по электричеству“ [2] Фарадей определяет направление гальванических токов, вызываемых индукцией, следующим образом: 1) гальванический ток вызывает в приближаемой к нему параллельной проволоке ток противоположного направления, а в удаляемой — ток того же направления; 2) магнит вызывает в перемещающемся около него проводнике ток, зависящий от направления, в котором проводник при своем движении пересекает магнитные линии (Pogg. Ann., 1832, № 5; п. п. 114 и 116 работы Фарадея). Однако помимо того, что здесь даются два совершенно различных правила для одного и того же явления (так как, по изящной теории Ампера [3], магнит можно себе представить как систему круговых гальванических токов), это правило является еще и недостаточным, по крайней мере непосредственно, так как оно не охватывает ряда случаев, например того, когда проводник, расположенный перпендикулярно току, перемещается вдоль него; наконец, второй пункт правила, по моему убеждению, не обладает такою степенью простоты, чтобы его можно было применять к отдельным [конкретным] случаям. Я думаю, что и другие читатели этого, вообще говоря, превосходного произведения согласятся в этом со мной, если вспомнят п. 116, где Фарадей пытается сделать это правило более отчетливым, пользуясь [в качестве проводника] лезвием ножа, перемещаемым по магниту; да Фарадей и сам упоминает о том, как трудно хорошо объяснить направление токов.

Нобили [4] (Pogg. Ann., 1833, № 3) исходит из первого положения Фарадея, а именно, что при приближении проводника к параллельному ему гальваническому току в проводнике возбуждается ток противоположного направления, а при удалении — того же направления, и пытается только этим правилом объяснить все явления электродинамической индукции и направления возбуждаемых ею токов. Однако эта работа, вообще говоря очень ценная, в ряде пунктов не имеет для меня той степени очевидности, которую мы вправе ожидать в физических статьях; сюда относится пункт, содержащий объяснение [появления] токов, которые возникают в проводнике, перпендикулярном гальваническому току и перемещающемся вдоль него.

Фарадей, конечно, прав, когда он против всей теории итальянского физика выдвигает то возражение, что при вращении магнита вокруг его собственной оси и при надлежащем наложении на него проводов также возбуждается гальванический ток, хотя здесь никакого приближения или удаления [амперовых] токов магнита относительно последнего нет; напротив, все в нем сохраняет свое относительное положение.

Сейчас же по прочтении статьи Фарадея я пришел к мысли, что все опыты по электродинамической индукции могут быть легко сведены к законам электродинамических движений, так что если эти последние считать известными, то этим самым будут определены и первые; так как это мое представление оправдалось на ряде опытов, то я и изложу его в последующем, проверяя отчасти на уже известных и отчасти на нарочно для этой цели поставленных опытах.

Положение, посредством которого магнито-электрическое явление сводится к электромагнитному, заключается в следующем:

Если металлический проводник движется поблизости от гальванического тока или магнита, то в нем возбуждается гальванический ток такого направления, что [если бы данный] проводник был неподвижным, то ток мог бы обу-

словить его перемещение в противоположную сторону; при этом предполагается, что покоящийся проводник может перемещаться только в направлении движения или в противоположном направлении.

Поэтому, для того чтобы ясно представить себе направление тока, возбуждаемого в подвижном проводнике посредством электромагнитной индукции, надо сообразить, куда по электромагнитным законам должен быть направлен тот ток, который вызвал бы это движение [проводника]; направление тока, возбужденного в проводнике, будет ему противоположно. Для примера рассмотрим известный фарадеевский опыт с вращением, в котором через вертикально висящий подвижной проводник пропускается гальванический ток сверху вниз; следовательно, этот проводник обвивает северный полюс находящегося как раз под ним магнита в направлении от севера через восток к югу; если мы теперь не будем пропускать ток через подвижной проводник, а сообщим проводнику только что упомянутое движение какими-нибудь механическими способами, то, по нашим законам, в нем будет возбуждаться ток, который, будучи направлен в сторону, противоположную предыдущему случаю, пойдет по подвижному проводнику снизу вверх; он и может быть в нем обнаружен, если соединить его верхний и нижний концы через мультипликатор.

Если мы теперь отчетливо представим себе указанный выше закон, то сможем вывести из него следствие, что каждому явлению электромагнитного движения должен соответствовать случай электродинамической индукции; нужно только, как в вышеприведенном примере, движение, вызываемое электромагнитным путем, осуществлять каким-нибудь другим способом; тогда в подвижном проводнике будет возбуждаться ток, противоположный по направлению тому, который проходил в электромагнитном опыте. В дальнейшем я приведу несколько таких соответствующих друг другу явлений, и притом так, что тотчас после электромагнитного явления будет следовать соответствующее ему магнито-электрическое; первое я буду обо-

значать большими буквами латинского алфавита, а второе — соответствующими малыми. Таким образом, мы одновременно наилучшим образом осветим правильность нашего закона; еще бо́льшую ясность внесут фигуры 1—7, в которых схемы опытов приведены с теми же обозначениями, как в тексте (A, a — G, g); относительно них я замечу следующее: как направление движения, так и направление тока обозначены стрелками, но стрелки в этих двух случаях имеют различную форму: стрелка с кружком на конце относится к движению, а стрелка без кружка на конце — к току; далее, стрелки, вычерченные сплошной линией, обозначают осуществляемое в опыте движение или пропущенный ток, а стрелки пунктирные — того же вида — движение или ток, полученные в результате опыта. Помня эти обозначения, можно без труда разобраться в рисунках. Итак, я перехожу к самым опытам:

A. Прямолинейный проводник, через который проходит гальванический ток, притягивает параллельный ему подвижный проводник, когда через него пропущен ток, имеющий одинаковое направление с током в первом проводнике; но он его отталкивает, если направление тока в подвижном проводнике противоположно направлению в неподвижном (Ампер).

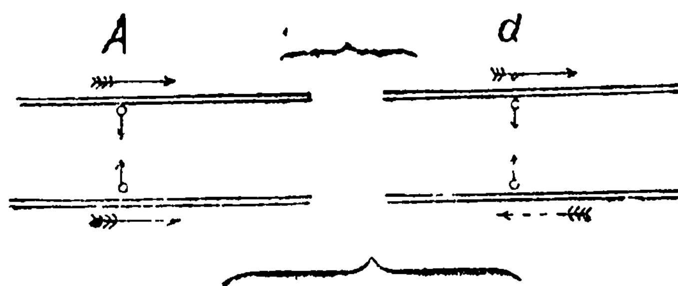
a. Если через один из двух прямолинейных параллельных друг другу проводников проходит гальванический ток и если второй проводник приближается к первому в *параллельном направлении*, то в подвижном проводнике во время перемещения возбуждается ток, противоположный току в неподвижном проводнике; но если его удалять, то возбуждаемый ток имеет то же направление, что и возбуждающий (Фарадей).

B. Если мы имеем два вертикальных круговых проводника, приблизительно одинакового диаметра, плоскости которых перпендикулярны друг другу и у которых общий им обоим вертикальный диаметр является осью, около которой оба (или только один) могут вращаться, и если через оба про-

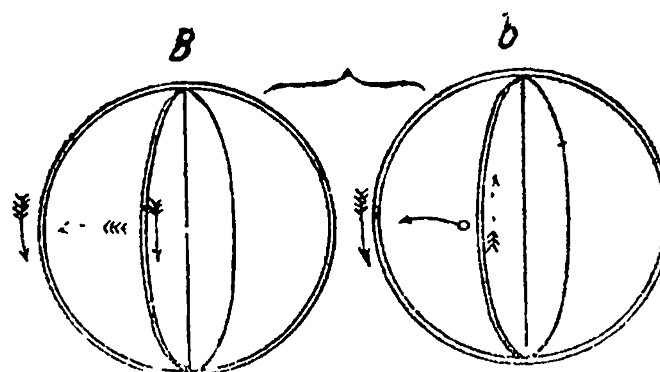
пускается гальванический ток, то они расположатся так, чтобы направление токов в них было одинаковым (Ампер).

в. Если через один из круговых проводников, устроенных и расположенных согласно вышесказанному, а именно через неподвижный проходит гальванический ток, и если другой, подвижный, внезапно перевести из перпендикулярного в параллельное положение, то в нем возникнет ток, противоположный току в другом проводнике (Ленц).

Я произвел этот опыт с двумя круговыми проводниками, каждый из которых состоял из 20 витков оплетенной медной



Фиг 1.



Фиг. 2.

проволоки; один из них был соединен с парой цинк—медь, площадью 2 кв. фута, а другой — с чувствительным мультипликатором Нобили.

C. Если поблизости от прямолинейного бесконечного проводника расположен другой прямолинейный проводник, подвижный и конечной длины, и притом так, что он весь лежит по одну сторону от первого, т. е. его не пересекает, и если через оба проводника проходит гальванический ток, то подвижный проводник будет перемещаться вдоль бесконечно длинного и притом в направлении протекающего через этот последний тока, если его собственный ток идет по направлению от первого [проводника] и в противоположном направлении, если его собственный ток идет по направлению к бесконечно длинному проводнику.

Термины „бесконечно длинный“ и „конечной длины“ следует понимать в смысле, обычно им приписываемом в учебниках электромагнетизма.

c. Если конечный проводник, расположенный перпендикулярно бесконечно длинному, по которому идет гальванический ток, перемещается вдоль последнего и в направлении его тока, в нем возникает ток, направленный к бесконечно длинному проводнику; если же, однако, проводник конечной длины перемещается против направления тока в бесконечно длинном проводнике, то возбуждаемый в нем посредством индукции ток направлен от бесконечно длинного тока (Нобили, Pogg. Ann., 1833, № 3, стр. 407).

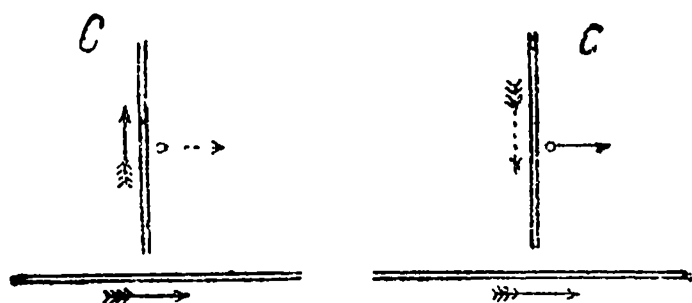
Мы рассмотрели главнейшие случаи, когда один гальванический ток действует на другой; в дальнейшем мы подобным же образом сопоставим в основных чертах явления взаимодействия гальванического тока и магнита. Способ представления, впервые предложенный Ампером, позволяет легко разбираться в электромагнитных явлениях этого рода в отношении направления вызываемого движения; этот способ, как известно, заключается в том, что току приписывают голову, ноги, правую и левую руки, или, что еще лучше, представляют себя включенным в ток, который (при положительном направлении) входит через ноги и выходит из головы, причем лицо обращено к северному полюсу магнита; магнит тогда отклоняется током влево, или же ток (а вместе с ним и наблюдатель) перемещается вправо от северного полюса.

Исходя из нашего общего закона, сводящего магнито-электрические явления к электромагнитным, мы легко выведем подобное же правило и для этих последних; оно будет гласить так:

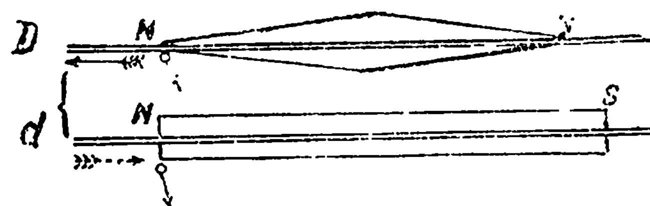
В проводнике, перемещающемся перед северным полюсом магнита, под влиянием электродинамической индукции возникает гальванический ток, причем направление его дается следующим правилом: если мыслить себя включенным в подвижном проводнике таким образом, что лицо обращено к северному полюсу, и двигаться с проводником вправо, то ток протекает от головы к ногам. Мы увидим, что это правило подтверждается во всех нижеследующих расположениях.

D. Если прямолинейный ток проходит над свободно висящей магнитной стрелкой, ориентируемой силой земного магнетизма в направлении с юга на север и притом параллельно стрелке, то северный полюс магнитной стрелки отклонится к западу; если же ток идет с севера на юг, то стрелка отклоняется на восток. Если проволока расположена под стрелкой, то в первом случае стрелка отклоняется на восток, а во втором на запад (Эрстед [5]).

d. Если над магнитом, ориентированным в его естественном положении с юга на север, расположить параллельно ему проводник, а затем магнит внезапно повернуть вокруг его



Фиг. 3.



Фиг. 4.

средней точки северным полюсом на запад, то в проводнике возбуждается ток, идущий с севера на юг если магнит повернуть на восток, то ток пойдет с юга на север. Если проводник находится под магнитом, то ток в первом случае идет с юга на север, а во втором — с севера на юг (Ленц).

Для этого опыта я взял в качестве проводника сторону квадрата, длиною в 1 фут, состоящую из нескольких витков оплетенной шелком медной проволоки; эту сторону я располагал на таком расстоянии от магнита длиною в 5 дюймов, чтобы можно было пренебречь электродинамическим действием его на другие три стороны по сравнению с действием на эту сторону. Для того чтобы определить направление возникающего в проводнике тока по вышеприведенному правилу, надо себе представить, что магнит неподвижен и что проводник поворачивается в первом случае на восток, а во втором — на запад, что, очевидно, одно и то же; так можно легко ориентироваться.

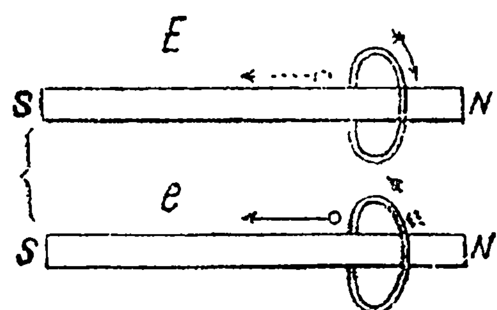
E. Если к вертикальному круговому гальваническому току, могущему свободно перемещаться в горизонтальном направлении (например плавающему на жидкости), приближать магнит, ось которого расположена горизонтально, так, чтобы продолжение оси проходило через центр кругового тока, и если направление этого последнего параллельно направлениям токов в магните (по теории Ампера), то ток будет перемещаться по направлению к магниту до его середины так, что он его в этом положении равновесия охватывает кольцом. При внезапной перемене направления тока или при повороте магнита ток выталкивается от середины магнита за пределы полюса (де ла-Рив [6]).

e. Если круговую катушку, соединенную с мультипликатором, внезапно надвинуть на магнит через его полюс до середины, то в ней возникает гальванический ток, направление которого противоположно направлению токов в магните; если же выдвинуть от середины через полюс наружу, возникающий при этом ток будет иметь то же направление, что и токи в магните (Фарадей).

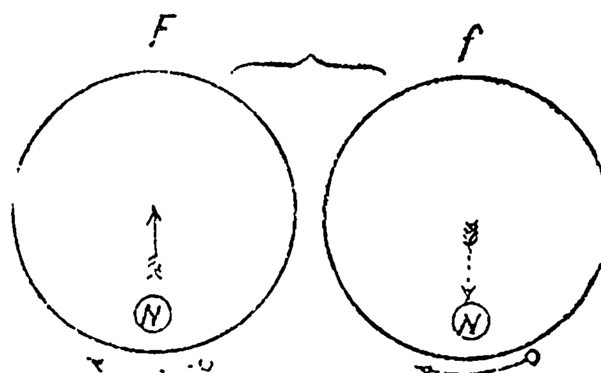
Сюда же относится известный опыт, впервые поставленный Нобили; а именно, если на полюс подковообразного магнита накладывается цилиндрический якорь из мягкого железа, обмотанный катушкой, в катушке возбуждается ток, направленный противоположно токам, которые (по Амперу) магнит возбуждает в якоре; при удалении якоря возбуждается ток, параллельный токам в якоре.

В самом деле, окружающие молекулы железа токи расположены в железе во всех направлениях; при положении якоря магнит ориентирует в определенном положении сначала те из них, которые расположены ближе к магнитному полюсу; эта ориентировка распространяется, правда, в течение бесконечно малого времени от обоих концов якоря к его середине; таким образом дело обстоит так, как если бы в катушку, окружающую якорь, были внезапно вдвинуты два полюса — с одной стороны северный, а с другой — южный, которые затем в середине вместе

образуют один магнит. Оба полюса должны вызывать в катушке одинаково направленные токи, ибо противоположны не только полюсы, но и направления их приближения. При удалении ориентировка токов пропадает прежде всего в середине, где она была слабее всего, и дело обстоит так, как будто оба полюса выдвигаются из катушки в противоположных направлениях. В электромагнетизме этому опыту соответствуют два одновременных опыта, подобных опыту де-ла-Рива, т. е. подвижной круговой ток должен надвигаться или выдвигаться с каждой стороны магнита.



Фиг. 5.



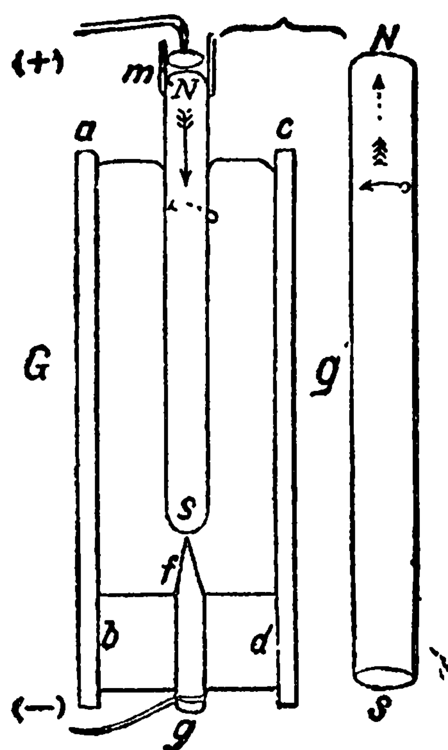
Фиг. 6.

F. Если столь известное в электромагнитных опытах колесо Барлоу [7] расположить в плоскости меридиана, пропустить через него ток *от окружности к центру* и так установить у его нижнего конца подковообразный магнит, чтобы северный полюс был расположен к западу от колеса, а южный — к востоку, то колесо будет вращаться вокруг своей оси в направлении стрелки часов, циферблат которых обращен на запад; если же ток идет *от центра к периферии*, то движение происходит в противоположном направлении. Если магнит повернуть так, чтобы его северный полюс был расположен на восток, то и направления вращения в обоих случаях также меняются на обратные (Барлоу).

f. Если насадить медный диск на ось, вокруг которой он мог бы вращаться, и поднести к диску подковообразный магнит так, чтобы его северный полюс приходился над диском, а южный над ним, и поворачивать затем диск по направлению стрелки часов, циферблат которых обращен кверху, то

в диске возникнет ток, идущий от *центра к окружности*; если вращение происходит против направления стрелки часов, обращенных кверху, то ток идет от *окружности к центру*. При перемене полюсов меняются также направления токов в вращающемся токе (Фарадей).

Соответствие этих двух опытов станет совершенно очевидным, если представить себе, что колесо Барлоу расположено горизонтально своей западной частью кверху, что и показано на относящейся сюда фиг. 7.



Фиг. 7.

G. Если через тело магнита, могущего вращаться вокруг своей оси, пропустить гальванический ток от расположенного наверху северного полюса к его середине, то магнит повернется по стрелке часов, циферблат которых обращен кверху. Если пропустить ток от середины магнита наверх к его северному полюсу, то направление вращения противоположно предыдущему. Если повернуть кверху южный полюс, то, когда ток приходит от южного полюса к середине, вращение противоположно вращению часовой стрелки, а при направлении тока от середины к южному полюсу, вращение совпадает с вращением стрелки, причем циферблат все время обращен кверху* (Ампер).

---

* Чтобы произвести этот опыт, я пользовался приспособлением более простым, чем обычное, поэтому я его приведу здесь (фиг. 7). Стеклянная трубка *abcd* длиною 3 дюйма и шириною 1 дюйм закрыта на своем нижнем конце *bd* пробкой, сквозь которую проходит железная проволока *fg* (фиг. 7, *G*)

Цилиндрический магнит, которым я пользуюсь, имеет в длину $2^1/_2$ дюйма, а толщину $^1/_5$ дюйма; его концы обточены в виде полушарий. В трубку наливают ртуть; магнит вставляют до соприкосновения с острием железной проволоки; тогда этот конец удерживается там притяжением, а магнит пла-

g. Если у магнита, который может вращаться вокруг своей оси и северный полюс которого обращен кверху, соединить в этом его положении его верхний, северный полюс и середину с мультипликатором и затем сообщить ему вращение вокруг его оси, направление которого совпадает с направлением движения стрелки часов циферблат которых обращен кверху, то мультипликатор покажет гальванический ток, возбужденный путем электромагнитной индукции в магните и идущий от середины к северному полюсу; если вращение происходит против часовой стрелки, то возбужденный ток идет от полюса к середине. Если южный полюс обращен кверху и в то же время соединен с серединой через мультипликатор, то в первом случае вращения ток идет от полюса к середине, а во втором — от середины к полюсу (Фарадей).

Я надеюсь, что на основании вышеизложенного, можно считать достаточно доказанным совпадение вышеуказанного закона в его следствиях с опытом.*

вает в ртути вертикально другим концом кверху; и так как он соприкасается с железной проволокой только в одной точке, а именно, в силу того, что его конец имеет полукруглую форму, в вершине свода, а следовательно в оси магнита, он имеет наибольшую подвижность. На верхнем краю *m* магнита тесно надета небольшая бумажная гильза, вплотную его охватывающая и слегка выступающая сверху так, что она образует чашечку, содержащую каплю ртути. Прибор устанавливается на доску, в которой имеется желобок со ртутью; в него погружен нижний конец *g* железной проволоки, соединяют этот ртутный желобок с одним из металлов гальванической цепи, тогда как от другого металла проводник идет к капле ртути *m*; тогда немедленно же начинается вращение магнита вокруг его оси.

* Одновременно доказывается, что г-н Ритчи [8] установил этот же закон как раз в обратном смысле (Pogg. Ann., Bd. XXXI, стр. 206), если только я верно понял смысл его не вполне отчетливого сообщения.

О ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ НА ИНДУКЦИОННЫЙ ТОК, ПРОИЗВОДИМЫЙ МАГНИТО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МАШИНАМИ



ПЕРВОЕ СООБЩЕНИЕ

Доложено 3 декабря 1847 г. [1]

До сих пор у нас нет полного исследования о влиянии, оказываемом скоростью вращения магнито-электрических машин на возбуждаемый ими ток. Большинство наблюдателей, работавших с такими машинами, ограничивалось тем, что применяло равномерное вращение, так как последнее представлялось соответствующим целям предпринимаемых ими исследований; только в одной статье Вебера [2], помещенной в „Poggendorff's Annalen" (LXI) под заглавием „Мера действия магнито-электрических машин", в одном из параграфов (стр. 434) говорится о зависимости силы тока от быстроты перемен возбуждаемых магнетизмов. Вебер в этом параграфе показывает путем опыта с 3 различными скоростями перемен или вращения, что возбуждаемый ток растет с увеличением быстроты перемен, однако в меньшей степени, что он пытается выразить эмпирической формулой

$$g = \frac{an}{1 + bn + cn^2},$$

где g обозначает силу возбужденного тока, n — число перемен тока в секунду, а a, b, c — коэффициенты, определяемые из опытов. Если бы было позволено экстраполировать эту формулу по n за те границы, до которых простирались опыты для определения a, b и c, то из нее следовало бы, что при известном числе перемен в секунду, а именно $\sqrt{\frac{1}{ac}}$ [3], сила

тока должна была бы достигнуть максимума и затем, при еще большей скорости вращения, опять убывать. Вебер обращает на это внимание, но устройство его прибора не позволило произвести такие повышения скорости вращения; кроме того, такой опыт не являлся целью его тогдашних исследований.

Непропорциональность силы тока скорости вращения Вебер приписывает коэрцитивной силе железа, препятствующей железу воспринимать возбуждаемый индукцией магнетизм сразу же в полной мере.

Я тоже исходил из этой гипотезы, представлявшейся вполне естественной, и когда я здесь, в Петербурге, получил от механика Альбрехта машину, изготовленную по конструкции Штерера [4], я решил исследовать вопрос подробнее, надеясь получить, прежде всего, более глубокое представление о скорости, с которой железо воспринимает магнетизм.

Машина состоит из 3 подковообразных магнитов, установленных вертикально, полюсами наверх, так что 6 полюсных поверхностей расположены в горизонтальной плоскости и занимают такое относительное положение, что прямые линии, соединяющие середины двух соседних полюсов, образуют правильный шестиугольник. Размеры таковы же, как приводимые Штерером (Pogg. Ann., Bd. LXI, стр. 426). Индукционные катушки, равномерно намотанные на 6 железных цилиндров, могут путем поворота соединительного диска быть соединены друг с другом 4 различными способами, а именно:

1) все 6 катушек в 1 параллельную цепь (соединение 1);

2) по 3 катушки параллельно в 2 последовательные цепи (соединение 2);

3) по 2 катушки параллельно в 3 последовательные цепи (соединение 3);

4) все 6 последовательно, т. е. проволока образует непрерывную последовательную цепь (соединение 6).

Для того чтобы измерять в каждый данный момент скорость вращения или число полных оборотов железного кольца, на

котором укреплены индуцируемые цилиндры, я установил счетчик на верхнем конце оси, над коммутатором, а именно, я наставил ось латунным цилиндром, в котором была нарезана винтовая нарезка. К этой нарезке можно было надвинуть 2 зубчатых колеса, сидящих на одной оси, одно с 100, а другое с 101 зубом, и с ней сцепить их. Каждое колесо при вращении вело за собой свой указатель так, что 1 деление указателя колеса измеряло 1 оборот оси, а изменение расстояния между указателями измеряло число целых оборотов первого колеса. Таким путем было промерено число оборотов оси магнито-электрической машины непосредственно на ней самой и независимо от могущего быть какого-либо скольжения струны, которая в виде бесконечного ремня соединяла ось с вращающимся диском. Для получения возможно равномерной скорости вращения, я пользовался ударами метронома, период которого я мог изменять по желанию; мой помощник старался производить вращение так, чтобы 1 оборот приходился на 1 удар метронома, в чем он скоро и преуспел. Только при очень медленном вращении брались 2, а часто даже 4 удара метронома на 1 оборот, что, впрочем, не представляло особых новых трудностей. Так как у машины было 6 магнитных полюсов, то каждый оборот соответствовал 6 переменам тока.

В моих первых опытах я соединял концы индукционной катушки с вольтаметром и измерял ток количеством выделенного газа. Вольтаметр имел полированные электроды и обнаруживал доказанную Якоби абсорбцию газов, столь значительную у зачерненных электродов, в такой незначительной степени, что она после многочасовой работы была едва заметна и, следовательно, при малой продолжительности данных опытов (2 или 3 минуты) безусловно могла быть принята равною нулю. Коммутатор машины при этом был расположен так, что при положении покоя индукционных цилиндров (т. е. когда последние останавливались сами собой в положении наибольшего притяжения магнитов) ток прерывался и затем менял направление, так что он, как принималось до сих пор, должен был

итти через вольтаметр все время в одном и том же направлении. Дальше мы увидим, что это представление должно быть изменено. Наблюдение производилось следующим образом: помощник пытался осуществить желаемую скорость вращения при еще незамкнутой индукционной цепи; после его сигнала, показывавшего мне, что это ему удалось, я соединял концы индукционной катушки с вольтаметром при определенном ударе хронометра, а он отсчитывал в этот же момент положение счетчика; вращение продолжалось с тою же скоростью, в течение точно 1 минуты; с последним ударом хронометра цепь размыкалась, а помощник в тот же момент отодвигал счетчик от винтовой нарезки; разность показаний счетчика в начале и в конце давала число оборотов в минуту.

Полученные результаты приведены в таблице на стр. 165; указанные в ней объемы газа одного и того же ряда приведены к одному давлению и к одной температуре, а объемы разных рядов не приведены, так как мне не надо было сравнивать абсолютные объемы. Каждое число таблицы есть среднее из 3 или 4 наблюдений.

Если мы сначала рассмотрим отдельно каждый из рядов наблюдения, где объемы измерены при одном и том же давлении и одной и той же температуре и, следовательно, непосредственно пропорциональны количествам прошедшего электричества, то увидим, что в каждом ряду подтверждается найденный Вебером результат, поскольку объемы газа растут отнюдь не пропорционально скоростям, а значительно медленнее. Мы могли бы поэтому применить здесь формулу Вебера и приписать попрежнему ослабление тока коэрцитивной силе железа; однако сравнение результатов, полученных при 4 способах соединения, т. е. всех 4 рядов нашей таблицы, показывает тотчас же, что это объяснение ни в коем случае не является достаточным.

А именно, мы находим, что в соединении 1 ток продолжает расти, хотя скорость доходит до 655.2 оборота в минуту, но что при соединении 2 уже при 380 оборотах наступает максимум тока, при дальнейшем же увеличении скорости ток падает;

Соединение 1		Соединение 2		Соединение 3		Соединение 4	
количество оборотов в 1 минуту	объем газа, в англ. куб. дюймах	количество оборотов в 1 минуту	объем газа, в англ. куб. дюймах	количество оборотов в 1 минуту	объем газа, в англ. куб. дюймах	количество оборотов в 1 минуту	объем газа, в англ. куб. дюймах
46.2	0	18.4	0.00	19.6	0	21.7	0.025
58.4	0	27.1	0.00	31.4	0.0001	32.4	0.050
85.8	0.0001	35.5	0.0001	44.0	0.055	43.7	0.086
92.9	0.0006	40.8	0.003	56.0	0.091	55.6	0.105
126.3	0.039	42.7	0.004	77.3	0.186	67.4	0.131
154.0	0.067	58.4	0.040	84.3	0.211	115.0	0.255
184.7	0.176	75.5	0.096	123.4	0.328	137.8	0.270
213.1	0.175	82.6	0.115	155.2	0.377	157.6	0.274
233.1	0.236	100.8	0.175	174.8	0.399	211.8	0.270
244.6	0.316	123.6	0.255	200.4	0.394	245.5	0.252
255.2	0.306	145.6	0.349	226.2	0.392	290.2	0.240
284.3	0.393	173.6	0.462	250.4	0.389	389.6	0.230
313.1	0.466	219.8	0.544	284.8	0.366	396.9	0.194
322.5	0.621	239.9	0.581	312.6	0.335	423.9	0.186
422.0	0.746	247.9	0.597	422.7	0.282		
427.0	0.748	284.2	0.637	473.2	0.261		
458.0	0.807	297.5	0.639	606.8	0.255		
502.5	0.890	329.6	0.656	629.3	0.243		
555.0	0.967	380.0	0.664	691.2	0.240		
585.8	0.984	419.0	0.653				
655.2	1.011	455.6	0.631				

что этот максимум при соединении 3 наступает еще раньше, а именно при 175 оборотах в минуту, и, наконец, при соединении 6 максимум наступает уже при 158 оборотах в минуту. Но во всех 4 соединениях влияние магнитов на железные цилиндры в точности одинаково, и если бы причиною ослабления тока служило не моментальное возбуждение магнетизма в железе, то это обстоятельство должно было бы сказаться в одинаковой мере во всех 4 способах соединения, т. е. во всех случаях максимум тока должен был бы наступать при одинаковой скорости вращения, хотя абсолютное значение тока при каждом способе соединения и будет различным, вследствие различия в электродвижущей силе и сопротивлении цепи в различных случаях.

Итак, из этих опытов вытекла необходимость искать причину явлений в чем-то другом и это другое определять дальнейшими опытами. В опытах с вольтаметром кроме электродвижущей силы магнито-электрической машины выступает еще одна сила, ей подобная, но действующая в противоположном направлении,— так называемая поляризация платиновых электродов, которая, начиная с нуля, растет с силой тока, достигая, наконец, некоторого максимума, при котором она сохраняется более или менее упорно; если теперь постепенно повышать скорость оборотов, так что и ток будет постепенно расти, то поляризация также проявляется в различной мере, и результаты поэтому должны быть сложнее. Эти соображения побудили меня начать новую серию опытов, в которой поляризация была совсем исключена; а именно, я пропускал токи через мультипликатор, стрелка которого была сделана менее подвижною путем прикрепленного к ней платинового крыла, вращающегося в сосуде с маслом; установка была тем не менее резко определенной. При действии на такой мультипликатор индукционных токов, идущих благодаря коммутатору постоянно в одном направлении, отклонение стрелки, несмотря на прерывистость тока, все же постоянно; стрелка либо стоит совершенно спокойно, либо колеблется в ту и другую сторону в пределах 1°, так что и здесь не

представляет труда определить ее среднее положение по наблюденным крайним положениям.

Мультипликатор, которым я здесь сначала пользовался, был не тот (нервандеровский [5], который я описал в „Bulletin de la classe phys.-math.“ (t. 1, стр. 209): он был конструирован позднее по Швейгеру [6] — в нем нет астатической стрелки, единственная же стрелка окружена катушкой из весьма большого числа витков очень тонкой серебряной проволоки; последняя совершенно свободна от какого-либо магнетизма. Прибор снабжен всеми приспособлениями для его точной проверки, путем точной установки рамки с витками проволоки в каждом азимуте при помощи микрометренного приспособления и точной центрировки стрелки. Я привел показания прибора к точным значениям, путем эмпирических поправок, посредством многократных тщательных рядов наблюдений, и составил таблицу поправок, доведенную до отклонений в 60°; далее я многократно проверял правильность этой таблицы; впрочем, опыты, приводимые далее, и выводимые из них следствия таковы, что остаются действительными даже при несовсем точных поправках; поэтому я полагаю, что здесь неуместно останавливаться на этом и подробно описывать опыты, из которых выведены поправки мультипликатора; я только напомню еще раз, что приводимые далее значения сил токов исправлены по таблице и поэтому могут считаться точными. Я буду называть этот мультипликатор швейгеровским и обозначать буквой S, тогда как нервандеровский будет обозначаться буквой N. Мультипликатор S отличается от прибора N значительно большей чувствительностью; путем трудоемкого исследования, которое излагать здесь было бы бесполезным, я определил, что мультипликатор S в 450 раз чувствительнее мультипликатора N, т. е. что ток, отклоняющий S на 1°, должен быть *ослаблен* в 450 раз, чтобы дать на N отклонение также в 1°.

Я беру, впрочем, для S за единицу тот ток, который отклонял его стрелку на 1°; положение стрелки можно было отсчитывать с точностью до 2′.

Однако прежде чем перейти к намеченным наблюдениям, я должен был, чтобы получить точное представление о всех обстоятельствах, которые оказывают влияние на индукционные токи, вызываемые машиной Штерера, определить сопротивления индукционных катушек этой машины для всех 4 способов соединения. Это производилось обычным способом, путем пропускания постоянного гальванического тока через индукционные катушки; ток измерялся на мультипликаторе N, и затем катушки заменялись моим агометром. Таким путем я получил следующие сопротивления (включающие в себя постоянное сопротивление соединительного провода, общего для всех родов соединений):

Сопротивление индукционной катушки для соединения	1	составляет	1.15	оборота	агометра
	2	„	3.47	„	„
	3	„	7.23	„	„
	4	„	29.11	„	„

Когда я соединил машину Штерера с мультипликатором S, то сразу же оказалось, что вызываемые ею токи были слишком сильны; стрелка выбрасывалась до 90°. Я должен был поэтому попытаться путем увеличения сопротивления удерживать отклонения в пределах от 0 до 60°. Чтобы достигнуть этого способом, который позволил бы мне точно знать величину включенного сопротивления, я построил себе следующий прибор: на 8 мраморных цилиндрах диаметром три дюйма была сделана тонкая винтовая нарезка и по каждой намотана катушкой нейзильберовая проволока; так как сопротивление каждой из этих 8 катушек было слишком велико, чтобы его можно было сравнить с агометром, то оно определялось по частям, путем прикладывания проводов к 2 точкам катушки; таким образом в гальваническую цепь можно было включать любое число витков. Проходя таким образом катушку от одного конца до другого, можно было получить, суммируя отдельные сопротивления, сопротивление каждой из 8 катушек; сумма их давала сопротивление всей системы. Эта система была заключена вящик, из которого выходили только концы катушек, так что

можно было соединять друг с другом любое их число; присоединив 9-ю подобную же катушку, я получил возможность составлять и измерять все сопротивления в пределах от 0 до 4800 витков агометра.

И вот оказалось, что когда я хотел действовать током от магнито-электрической машины на мультипликатор S, то для поддержания отклонений в пределах от 0 до 60° я должен был кроме сопротивления самой машины и сопротивления мультипликатора, равного 7.13, включать еще сопротивление, равное 6746.14; в сумме имеем сопротивление, равное 6753.27, помимо сопротивления индукционных катушек, которое даже при соединении 6 составляет, как сказано выше, только 29.11; им можно пренебречь по сравнению с этим большим сопротивлением и, следовательно, можно принять, что здесь при всех 4 способах соединения сопротивление цепей одно и то же, т. е. можно принять, что *силы тока прямо пропорциональны электродвижущим силам*.

Таким образом, мультипликатор S работает подобно служившему у Фехнера мультипликатору с очень большим числом оборотов, с тою лишь разницею, что здесь большая часть сопротивления падает не на проволоку самого мультипликатора, как у Фехнера, а на включенную систему сопротивлений.

Опыты с мультипликатором были поставлены совершенно таким же образом, как и опыты с разложением воды; число оборотов тоже измерялось непосредственно на оси вращения. Полученные результаты сведены в нижеследующих 4 таблицах (стр. 170—171); способ получения данных третьего и четвертого столбцов будет разъяснен далее.

При графическом изображении наблюденных сил тока, когда на оси абсцисс откладывались скорости вращения, а ординаты брались пропорциональными силам токов, получились кривые линии, имевшие параболический характер; я попытался представить их уравнением

$$F = an - bn^2,$$

(I)

Для соединения 1

Число оборотов в 1 минуту	Сила тока		
	наблюденная	вычисленная	разность
84.7	3.49	3.18	+0.31
172.0	6.40	6.16	+0.24
240.6	8.35	8.27	+0.08
293.7	9.79	9.82	—0.03
356.5	11.00	10.96	+0.04
333.8	11.27	11.40	—0.13
461.6	13.70	13.90	—0.20
579.1	16.92	16.10	—0.18
691.0	17.91	17.69	+0.22

Для соединения 2

Число оборотов в 1 минуту	Сила тока		
	наблюденная	вычисленная	разность
156.9	13.13	11.72	+1.41
268.3	18.37	18.50	—0.13
343.9	21.84	22.36	—0.52
409.9	24.98	25.25	—0.27
473.8	27.40	27.62	—0.22
524.2	29.36	29.19	+0.17
538.0	31.35	30.80	+0.55

Для соединения 3

Число оборотов в 1 минуту	Сила тока		
	наблюденная	вычисленная	разность
156.1	19.09	17.39	+1.70
267.0	27.72	27.58	+0.14
346.3	33.21	33.78	—0.57
408.8	37.09	38.01	—0.92
470.7	41.04	41.65	—0.61
530.1	44.06	44.61	—0.55
589.4	47.80	47.06	+0.74

Для соединения 6

Число оборотов в 1 минуту	Сила тока		
	наблюденная	вычисленная	разность
84.1	20.86	19.21	+1.65
134.1	31.16	29.72	+1.44
165.5	37.29	35.98	+1.31
171.0	39.22	37.05	+2.17
205.1	44.89	43.49	+1.40
270.5	54.59	54.98	—0.39
340.3	65.23	65.96	—0.73
402.2	74.13	74.60	—0.47

где F — сила тока, n — число оборотов в 1 минуту, a и b — постоянные, определяемые из опыта.

Я определял эти постоянные для каждого соединения по отдельности по методу наименьших квадратов и получил таким путем следующие четыре формулы:

Для соединения
1 $F = 0.03918\, n - 0.00001964\, n^2$
2 $F = 0.08286\, n - 0.00005184\, n^2$
3 $F = 0.12275\, n - 0.00007279\, n^2$
6 $F = 0.23970\, n - 0.00013481\, n^2$

Значения n, вычисленные по этим формулам, приведены в третьем столбце наших таблиц; разности между вычисленными и наблюденными величинами, приведенными в четвертом столбце, оставляют, правда, желать много лучшего и во всяком случае были бы меньше, если бы я ввел еще третий член n^3; но для моих целей достигнутая точность представлялась мне достаточною; я интерполировал по этим формулам силы токов для числа оборотов

100, 200, 300, 400, 500 и 600

и получил следующие значения сил токов:

(II)

		Число оборотов в 1 минуту					
		100	200	300	400	500	600
Сила тока для соединения	1	3.72	7.05	9.98	12.53	14.68	16.44
	2	7.77	14.50	20.19	24.85	28.47	31.05
	3	11.54	21.64	30.17	37.45	43.18	47.44
	6	22.62	42.55	59.78	74.13	86.15	95.28

Ввиду того, что, как было указано, силы токов, наблюдаемые с мультипликатором S, пропорциональны электродвижущим силам, числа этой таблицы выражают электродвижущие силы. Если мы рассмотрим сначала значения *электродвижущих* сил в одном и том же вертикальном столбце, то легко показать, что они должны быть пропорциональны числам 1, 2, 3, 6, которыми мы пользуемся для обозначения способа соединения. Действительно, влияние ослабления тока при ускорении вращения на эти числа одинаково, так как они получены при одной скорости; с другой стороны, известно, что в магнито-электрических машинах электродвижущая сила индукционной катушки, состоящей из любого числа одинаковых параллельных соединений, такова же, как и электродвижущая сила каждого отдельного соединения. В нашей машине все 6 электромоторных катушек состоят из одинакового числа витков и намотаны на железные цилиндры, отрезанные от одного и того же железного стержня, поэтому их можно считать приблизительно одинаковыми; прямые опыты убедили меня в этом в отношении их сопротивления. Таким образом, электродвижущая сила каждого из наших 4 родов соединений должна быть пропорциональной числу последовательно соединенных катушек, а это последнее как раз выражается обозначающими их числами. Для проверки того, насколько наши опыты подтверждают это, обозначим электродвижущую силу соединения 1 — например для скорости 100 — через x; тогда имеем уравнения:

$$3.72 = x, \qquad 7.77 = 2x,$$
$$11.54 = 3x, \qquad 22.62 = 6x;$$

отсюда методом наименьших квадратов получаем $x = 3.795$. Если подставить это значение в наши уравнения, разности между вычисленными значениями, стоящими в правых частях уравнений, и наблюденными, стоящими в левых частях, покажут по своим абсолютным величинам и по распределению знаков, имеет ли место пропорциональность найденных электродвижущих

сил числам 1, 2, 3, 6 или нет. Произведя такое вычисление для всех скоростей нашей таблицы, я получил:

Скорость	100	200	300	400	500	600	[обор. в мин.]
$x=$	3.795	7.125	9.997	12.409	14.361	15.85	

Разности значений электродвижущих сил, полученных с этими значениями x, если их вычесть из наблюденных значений табл. (*II*), таковы:

		Для скоростей [обороты в минуту]					
		100	200	300	400	500	600
Соединение	1	—0.07	—0.07	—0.07	+0.12	+0.32	+0.59
	2	+0.18	+0.05	+0.20	+0.03	—0.25	—0.65
	3	+0.16	+0.26	+0.28	+0.22	+0.10	—0.11
	6	—0.15	—0.20	—0.20	—0.14	—0.02	+0.18

Если мы примем во внимание, что электродвижущие силы отдельных катушек все же невполне одинаковы и что при опытах подобного рода стрелка всегда подвержена некоторым колебаниям, так что при наблюдениях предел погрешностей больше, чем точность непосредственного отсчета, то должны будем заключить из незначительной величины найденных разностей и, в особенности, из неравномерного распределения знаков, что результаты опыта подтверждают теоретически выведенную пропорциональность электродвижущих сил числам, выражающим способ соединения.

Посмотрим теперь, что получится из сравнения электродвижущих сил, наблюденных при различных скоростях. Мы замечаем прежде всего, что ни при какой скорости не имеем максимума электродвижущих сил — что так явно выступало в опытах с разложением воды; тем не менее значения электродвижущих

сил далеки от пропорциональности скоростям. Лучше всего это видно при рассмотрении полученных нами ранее для разных скоростей значений x, представляющих значения электродвижущих сил для одного цилиндра, выведенные из всех 4 родов соединений. Умножим эти значения x для скорости 100 соответственно на 2, 3, 4, 5, 6; тогда при пропорциональности скоростей вращения электродвижущим силам эти вычисленные значения должны были бы равняться значениям x для скоростей 200, 300, 400, 500, 600; это, однако, совершенно не имеет места, как показывают нижеследующие числа:

	Для скоростей [обороты в минуту]					
	100	200	300	400	500	600
Вычисленная электродвижущая сила	3.79	7.59	11.39	15.18	18.98	22.67
Значение x	3.79	7.12	10.00	12.41	14.36	15.75
Разности .	0.00	0.47	1.39	2.77	4.62	6.92

Если мы пожелаем объяснить получающееся здесь при повышении скорости ослабление электродвижущей силы инерцией восприятия железом магнетизма, то мы можем прийти к следующим выводам. Обозначим через m величину магнетизма, которую может воспринять железный цилиндр при скорости 0; пусть при скорости вращения 1 этот магнетизм уменьшается на величину q; тогда, если можно положить ослабление пропорциональным скорости, для скорости n оно выразится величиной qn, а следовательно, магнетизм при этой скорости — величиной $m - nq$. Но электродвижущая сила пропорциональна этому магнетизму и числу, которое показывает, как часто в единицу времени возбуждается такой магнетизм, т. е. скорости

вращения; электродвижущую силу k можно, таким образом, выразить следующим уравнением:

$$k = (m - nq)\, n = mn - qn^2.$$

Но это — как раз та формула, по которой мы выше интерполировали силы токов, с той разницей, что вместо коэффициентов a и b стоят m и q; мы видели, что эта формула довольно хорошо выражает результаты наблюдений. Таким образом, отсюда, повидимому, вытекает, что результаты, полученные с мультипликатором S, могут быть объяснены на основе коэрцитивной силы или инерции железа в отношении воспринимаемого им магнетизма; но тогда эти опыты стоят в явном противоречии с результатами, полученными при разложении воды. Для объяснения этого противоречия мы можем обратить внимание на два обстоятельства, различные в двух сериях наблюдений; а именно, во-первых, на поляризацию электродов, которая проявляется при разложении воды, но не имеет места в опытах с мультипликатором S, и, во-вторых, то, что в последних опытах токи были слабее более чем в 400 раз. Для ближайшего выяснения этого последнего обстоятельства я перешел к третьей серии опытов, в которой пропускал индукционный ток от машины Штерера через мой нервандеровский мультипликатор; я напоминаю здесь, что этот мультипликатор (Bull. phys.-math., t. I, стр. 129) представляет собою тангенс-буссоль, в которой пропорциональность сил токов тангенсам углов отклонения со всей строгостью сохраняется вплоть до углов отклонения в 40°.

И здесь колебания стрелки уменьшались крылом, погруженным в сосуд с маслом. Сопротивление этого мультипликатора с подводящими проводами составляет 3.008.* Цепь состояла

* В моей статье (стр. 229) я давал для сопротивления проводов мультипликатора значение 2.338 и для подводящих проводов 0.859, *приведенных к агометру* А. Чтобы привести эти числа к моему теперешнему нормальному агометру, их нужно умножить на 0.941; тогда получается для первого сопротивления 2.200 и для второго 0.808 и, значит, в сумме 3.008

из штереровских индукционных катушек, проводов мультипликатора и соединительных проводов. Полученные результаты содержатся в следующей таблице:

(III)

Соединение 1		Соединение 2		Соединение 3		Соединение 6	
число оборотов	сила тока	число оборотов	сила тока	число оборотов	сила тока	число оборотов	сила тока
89.4	10.52	68.8	8.65	85.3	8.47	93.4	6.02
145.0	14.82	113.6	12.96	87.5	9.07	120.5	6.29
176.5	17.62	170.0	15.20	108.5	10.38	145.1	6.19
227.0	19.92	203.5	16.09	132.0	11.14	180.6	5.46
272.6	21.90	234.0	16.06	170.0	11.81	251.1	4.48
287.5	22.18	258.8	16.79	204.4	11.46	287.4	4.20
315.6	22.85	262.4	16.63	268.0	10.65	850.8	3.75
333.0	23.49	294.2	16.39	342.0	9.42	456.3	3.17
347.7	24.52	342.5	16.03			515.9	2.92
357.2	24.89	403.3	15.11			580.6	2.72
447.2	26.51	470.3	14.05			620.4	2.64
532.4	27.76					688.2	2.40
576.0	28.28					707.4	2.30
610.9	28.48						
619.1	28.67						
705.0	28.71						

Рассмотрение этих рядов (*III*) сразу же показывает, что:

при соединении 1 при увеличении скорости вращения приращение тока провода замедляется, но максимума не наблюдается;

напротив, при соединении 2 наступает максимум при 260 оборотах в минуту;

при соединении 3 максимум наступает уже при 170 оборотах в минуту;

наконец, при соединении 6 — при 120 оборотах.

Таким образом, мы находим здесь полное подтверждение данных, полученных с вольтаметром; максимум тока или вообще не наступает (как в соединении 1) в пределах достигнутых скоростей, или наступает тем раньше, чем меньше цилиндров соединено параллельно и чем больше — последовательно. Поэтому мы должны заключить и здесь, что ослабление тока вызывается не инерцией железа к восприятию магнетизма и что причину надо искать в чем-то другом. Но опыты (*III*) показывают также, что не оказывает влияния и поляризация электродов, так как здесь она вообще не имеет места. Поэтому нам не надо заниматься наблюдением ее влияния, хотя было бы нетрудно доказать теоретически ее несостоятельность. Сравнивая далее эти опыты (*III*) с теми, которые были произведены с мультипликатором S и в которых ни при каком способе соединения не наблюдалось максимума, мы вынуждены признать, что наступление максимума обусловлено *силой тока*, так как эта последняя в 2 опытах сильно различна.

Дальнейшие подтверждения этого положения мы видим в серии (*III*) с мультипликатором N. Здесь при соединении 6, когда все индукционные катушки соединены последовательно, весь ток, измеряемый мультипликатором, проходит через каждую катушку; но при соединении 3, когда мы имеем параллельные соединения по 2 катушки, через каждую проходит только половина измеряемого тока, и по тем же соображениям при соединении 2 — только $^1/_3$; наконец, при соединении 1 — только $^1/_6$ измеряемого тока. Если мы теперь рассмотрим в соединениях 6, 3 и 2, у которых имеет место максимум, значения сил токов, при которых получается максимум, и вычислим отсюда силы токов для каждой катушки, то получим:

Для соединения	Сила тока при максимуме	Сила тока в каждой катушке
6	6.29	$\frac{6.29}{1} = 6.29$
3	11.81	$\frac{11.81}{2} = 5.90$
2	16.79	$\frac{16.71}{3} = 5.57$

почти при одинаковых силах тока. Серия опытов с соединением 1 этому не противоречит ни в коей мере; наибольший ток при наибольшей скорости 705 там равен 28.72, т. е. ток в каждой катушке равен $\frac{28.72}{6} = 4.78$; это число значительно меньше, чем те, которые получались для сил токов максимумов рассмотренных ранее соединений; поэтому естественно, что здесь максимум еще не был достигнут.

Чтобы подвергнуть дальнейшей проверке положение, что появление максимума сил токов обусловлено самой силой тока, я поставил дальнейшие опыты с соединением 6. А именно, я увеличил сопротивления цепи включением агометра, благодаря чему силы токов при одной и той же скорости вращения естественно были ослаблены; таким образом, если максимумы обусловливаются силами токов, они должны наступать при тем большей скорости, чем больше было сопротивление цепи. Наблюдения дали следующее:

(IV)

Соединение 6

Положение агометра							
0		30		60		90	
скорость	сила тока	скорость	сила тока	скорость	сила тока	скорость	сила тока
79.2	6.00	129.1	5.36	204.4	4.98	291.6	5.01
105.4	6.72	165.6	5.80	238.9	5.36	320.4	5.13
120.3	7.03	171.5	5.87	268.8	5.56	335.5	5.20
130.0	6.92	183.3	6.00	296.5	5.65	396.5	5.37
148.3	6.96	201.6	6.09	319.4	5.61	460.0	5.42
155.2	6.80	208.4	6.13	351.0	5.56	527.4	5.35
171.0	6.62	232.8	6.02	403.2	5.45	582.4	5.23
139.6	5.94	266.6	5.94	427.4	5.31		
363.6	5.33	297.4	5.71	561.9	5.21		
		344.7	5.54				
		404.6	5.14				

Мы видим из этих опытов, что в самом деле максимумы наступают тем позже, чем больше сопротивления. Чтобы найти сопротивления всей цепи, нужно к сопротивлению агометра добавить еще сопротивление индукционных катушек с соединительными проводами, равное 29.11, и сопротивление мультипликатора с соединительными проводами, равное 3.08, тогда получаем:

При сопротивлении	Скорость в максимуме, обороты в минуту
32.19	120
62.19	208
92.19	296
122.19	460

Мы могли бы тут же исследовать, соответствуют ли максимумы при различных сопротивлениях всегда одной и той же силе тока; так как, однако, эти серии опытов были поставлены в различные дни, в течение которых штереровская машина много работала, то я не имею права утверждать, что ее электродвижущая сила сохранялась вполне неизменною; поэтому я предпочел для решения этого вопроса произвести особую серию опытов, в которой я при всех 4 соединениях определял только максимумы токов, при скоростях, заимствованных из предыдущих серий; при этом опыты производились как в восходящем, так и в нисходящем порядке, т. е. сначала для показаний агометра 0, 30, 60, 90, а затем в обратном направлении, т. е. при 90, 60, 30 и 0.

Таким путем я получил в среднем:

Для сопротивления	Максимум тока
32.19	6.54
62.19	5.86
92.19	5.51
122.19	5.38

Мы видим, что в самом деле максимумы наступают при почти одинаковых токах, несмотря на почти 4-кратное увели-

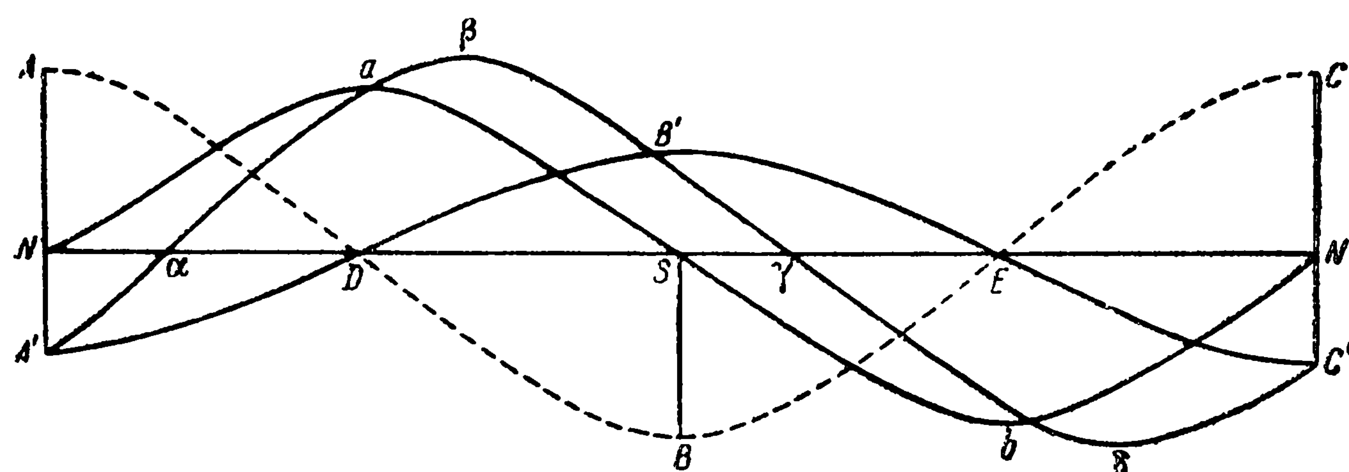
чение сопротивления; нельзя только забывать, что при больших сопротивлениях, а следовательно, и при больших скоростях вращения максимумы токов систематически оказываются несколько меньшими, совершенно подобно тому, как мы это уже находили при различных типах соединений.

Таким образом, из наших исследований вытекает опытный факт, что главной причиною непропорциональности роста электродвижущей силы и скорости вращения магнито-электрических машин заключается не в инерции железа к восприятию магнетизма; что замедление роста электродвижущей силы обусловливается преимущественно силою возбужденного тока; это ослабление электродвижущей силы должно, следовательно, вызываться реакцией тока в индукционных катушках на индуцирующие железные цилиндры, а такая реакция может проявиться только как намагничение. Это заключение привело меня к следующему теоретическому представлению о ходе вещей, которое лучше всего можно пояснить графическим построением.

Пусть линия NN' представляет собою направление движения одного из индукционных железных цилиндров; при N пусть он стоит против одного из магнитных полюсов, который ему сообщает северный магнетизм, а при S пусть он стоит против следующего противоположного магнитного полюса, который ему сообщает южный магнетизм такой же силы; при N' пусть он получает опять свой первоначальный северный магнетизм, так что рассматриваемый железный цилиндр проходит от N к N' полный период своего переменного магнетизма; в моей штерeровской машине каждый из индукционных железных цилиндров испытывает за полный оборот 3 таких периода; но можно считать, что следующие 2 периода совершенно одинаковы с первым, и потому нам достаточно рассмотреть процесс только в одном из периодов и взять действие 3 раза: это определяет явление за полный оборот.

Мы примем, прежде всего, что магнетизм сообщается железу моментально, т. е. что наибольшее намагничение железного

цилиндра наступает точно в положениях N, S и N'. Изобразим силу этого намагничения в этих точках 3 равными вертикальными ординатами, NA, SB и $N'C$, из которых SB направлена вниз, так как южный магнетизм при S прямо противоположен северным магнетизмам при N и N'. Если мы будем выражать силу возбужденного магнетизма в любой другой точке через соответствующую ординату, то получим кривую линию $ADBEC$,



Фиг. 1.

дающую изменение магнетизма железного цилиндра за полный период.

Правда, сейчас было бы невозможным дать закон искривления этой линии, но во всяком случае в точках A, B, C она будет наиболее удалена от оси абсцисс NN' и будет пересекать ее в точках D и E, лежащих как раз посередине, так как в этих точках D и E цилиндр удален на одинаковые расстояния как от северного, так и от южного полюсов магнитов, так что, при предположении, что сила полюсов одинакова, он не должен обнаруживать никакого магнетизма; впрочем, те заключения, которые мы сделаем на основании этих соображений, не зависят от закона искривления этой линии.

Северный магнетизм железного цилиндра, при движении последнего от N до D, уменьшается от величины NA до 0; при этом он индуцирует в окружающей цилиндр катушке в каждый момент электродвижущую силу, дающую в катушке ток, направление которого совпадает с направлением амперов-

ских токов магнитного цилиндра, а величина в каждый момент времени пропорциональна происходящему в цилиндре ослаблению магнетизма, т. е. выражается наклоном касательной к кривой линии $ADBEC$, для абсциссы, соответствующей данному моменту. Электродвижущая сила (а, следовательно, и ток) будет поэтому при N равна 0, так как здесь наклон касательной относительно оси абсцисс равен 0; при D она достигнет максимума, так как здесь наклон касательной наибольший, и при дальнейшем движении цилиндра будет при S опять равняться 0, при E опять будет максимальною (только при противоположном направлении тока) и, наконец, при N' опять равняться 0. Сила тока будет, кроме того, обусловлена сопротивлением цепи, будет, однако, проходить через те же фазы, так что его изменение можно представить кривой $NaSbN'$, для которой, впрочем, длина наибольшей ординаты $Da = Eb$ принята произвольно. Но этот индуцированный ток должен в свою очередь вызывать магнетизм в железных цилиндрах; этот магнетизм мы назовем *вторичным*, в отличие от *первичного*, вызываемого магнитом; вторичный магнетизм будет в каждой точке пропорционален действующему в этой точке току; его направление должно быть обозначено таким образом, чтобы положительным ординатам магнетизма соответствовали положительные ординаты тока и, наоборот, отрицательным ординатам магнетизма — отрицательные же ординаты тока; поэтому кривая, дающая вторичный магнетизм в каждой точке, будет иметь те же фазы, что и кривая тока; так как, кроме того, абсолютные величины ординат были нами приняты произвольно, то для упрощения рисунка мы можем принять, что та же кривая $NaSbN'$, которая изображает индуцированный ток, выражает также и *силу* вторичного магнетизма в каждой точке. Наконец, этот вторичный магнетизм (железного цилиндра), изменяющийся в каждый момент времени, будет вызывать *вторичную электродвижущую силу* в катушках на тех же основаниях, как и первичный магнетизм; соображения, совершенно подобные тем, которые служат нам в том случае, приводят нас к тому, что эта электродвижущая сила в каждой

точке может быть изображена кривой $A'DB'EC'$; поэтому *действительную электродвижущую* силу в каждой точке можно будет получить суммированием первичной и вторичной электродвижущих сил, т. е. на нашем рисунке суммированием ординат кривой $NaSbN'$ и $A'DB'EC'$, соответствующих одинаковым точкам оси абсцисс; производя это суммирование фактически, мы получаем кривую $A'\alpha\beta\gamma\delta C'$, выражающую изменение действительной электродвижущей силы, а следовательно, и действительного тока, возникающего при замыкании цепи одним и тем же проводником; этот ток мы измеряем мультипликатором или вольтаметром.

При ближайшем рассмотрении этой кривой мы находим следующее:

1) Сумма элементарных токов за полный период, т. е. весь ток, измеряемый мультипликатором, вследствие возникновения вторичного тока не увеличивается и не уменьшается; именно, она выражается площадью, ограниченною кривою и осью абсцисс; из рисунка видно, что участки вторичного тока $N'AD$ и $B'SE$ действуют против первичного тока (так как они лежат по другую сторону оси абсцисс, чем *соответственные* участки для первичного тока NaD и SBE), но зато совершенно им равные участки $DB'S$ и $EN'C'$ действуют с участками первичного тока DaS и $EBN'b$ в одну сторону.

2) Точки, где действительный ток становится равным 0 и где он меняет знак, оказываются смещенными, и притом на равные отрезки $N\alpha = S\gamma$. Но как раз в этих точках коммутатор должен изменять направление тока, чтобы в измерительном приборе он все время имел одно направление; отсюда следует, что в магнито-электрических машинах мы должны ставить коммутатор не так, чтобы прерывание и изменение направления тока происходило в точках N, S, N'; *мы должны, напротив, повернуть его, и притом тем более, чем сильнее вторичный ток, т. е. чем больше скорость вращения;* так как точка α, где благодаря совместному действию первичного и вторичного токов результирующий истинный ток $= 0$, нахо-

дится там, где положительная ордината первичного тока равна отрицательной ординате вторичного тока, а это будет иметь место тем дальше от N, чем значительнее величина отрицательной ординаты. Положения индукционных цилиндров N, S, N', где они стоят как раз против магнитных полюсов, при неподвижной машине устанавливаются сами собой благодаря притяжению магнитов; поэтому коммутатор обычно поворачивают так, чтобы как раз в этом положении равновесия его пружины легли на изоляторы (стекло, слоновая кость, дерево), разделяющие контактные сектора; по предыдущему, однако, нужно коммутатор повернуть так, чтобы прерывание произошло позже, и притом на участок, который тем больше, чем быстрее вращение. Если оставить пружину в прежнем положении, то ток — например при действии его на мультипликатор — пойдет не все время в одном направлении; часть отклонения уничтожается токами, идущими в противоположном направлении; но и при таких действиях, когда дело не идет о направлении токов, например при нагревании и разложении воды, нельзя пренебрегать перестановкой коммутатора уже потому, что только в этом случае прерывание происходит в таких точках, где ток равен 0, а при других положениях коммутатора — в точках, где сила тока значительна, и поэтому при прерывании, продолжающемся конечную долю всего периода, теряется значительная часть; при разложении воды привходит еще одно обстоятельство, о котором мы подробнее будем говорить далее.

Совершенно естественно, что моею ближайшею задачей было проверить, подтверждается ли на опыте эта необходимость поворота коммутатора, вытекающая из теоретических представлений о влиянии вторичного тока. Для того чтобы получить точные данные для этих представлений, я нанес на верхней круглой поверхности цилиндрического коммутатора деления через каждые 6° и укрепил на оси вращения, выступающей из коммутатора, указатель, который давал в этих делениях величину поворота коммутатора.

Опыты были поставлены так, что при известной скорости вращения определялись отклонения мультипликатора, когда коммутатор стоял на 0, т. е. когда он производил прерывание, как это всегда происходило ранее, в положении равновесия индукционных цилиндров, а затем в положениях 6, 12, 18, 24, 30°; если при этом обнаруживалось, что отклонения стрелки мультипликатора были больше всего, например, при положении коммутатора 18°, то они определялись также и при 21° и при 15; наибольшее отклонение при одном из этих положений принималось за абсолютно наибольший ток.

Я не буду подробно излагать здесь опыты, приведу только полученные результаты. Для соединения 1 я получил следующее:

Число оборотов	Ток	Положение коммутатора
140	8.41	0
	Максимум 9.17	9°
270	19.73	0
	Максимум 21.12	12
413	24.81	0
	Максимум 27.22	12
528	26.71	0
	Максимум 30.46	12
644	28.71	0
	Максимум 32.85	15

Действительно, оказывается, что для получения наибольшей силы тока коммутатор следовало переставлять так, как этого требует теоретическое рассмотрение, и притом сильнее при большей скорости, чем при меньшей. Совершенно то же самое

было получено при опытах с соединением 6. Здесь оказалось, что для получения более сильных токов следовало переставлять коммутатор:

На 18°	при	скорости	= 134;	ток	был	тогда	8.05
„ 24	„	„	= 268;	„	„	„	9.12
„ 27	„	„	= 407;	„	„	„	9.34
„ 29	„	„	= 533;	„	„	„	9.17
„ 30	„	„	= 665;	„	„	„	9.12
„ 30.0	„	„	= 782;	„	„	„	9.07

Здесь смещение было значительнее; мы не должны, однако, забывать, что сила токов при соединении 1 в каждой катушке составляла только $^1/_6$ того, что давал мультипликатор. Если мы поэтому при каждом из способов соединения возьмем смещение при скорости порядка 650 оборотов в минуту, то, правда, при соединении 1 оно составляет лишь 15°, а при соединении 6 — 30°, но зато и сила тока в каждом цилиндре при соединении 1 равна только $\frac{32.85}{6} = 5.48$, а при соединении 6 она увеличивается до 9.12.

Как наблюдения с мультипликатором, так точно и опыты с вольтаметром показывают большое влияние на силу тока правильного положения коммутатора. Для этих опытов я пользовался 2 вольтаметрами; оба были почти одинаковыми, только в одном (IV) платиновые электроды были покрыты платиновой чернью, а в другом (III) были совершенно блестящими.

Я вносил эти приборы один за другим в цепь, которая состояла только из машины Штерера, вольтаметра и соединительных проводов, и наблюдал количество выделившегося в 1 минуту гремучего газа (в английских кубических дюймах), поддерживая постоянную скорость вращения 690 оборотов в минуту и только переставляя коммутатор в том направлении,

как этого требовала теория. Таким путем я получил для вольтаметра IV, при соединении 1:

Положение коммутатора	Объем в куб. дюймах
0°	0.73
6	1.11
12	1.42
18	1.56
21	1.62
24	1.65
27	1.61
30	1.56

Тот же ток, который при прерывании в положении равновесия железного цилиндра давал объем в 0.73 куб. дюйма, при перестановке коммутатора на 24° повышал его до 1.65 куб. дюйма; при дальнейшем смещении, однако, опять выделялись меньшие количества газа. Таким образом, ток усиливался приблизительно в 2.3 раза.

Вольтаметр III, с блестящими электродами, давал при той же скорости вращения, при положении коммутатора = 0, объем 0.95; при повороте коммутатора на 20° достигался максимум, который составлял 1.32, так что здесь усиление было только в 1.4 раза. То обстоятельство, что здесь значение наиболее выгодного смещения составляет только 20°, тогда как у другого вольтаметра оно равнялось 24°, объясняется просто тем, что в вольтаметре IV ток имел бо́льшую силу.

При теоретическом рассмотрении вопроса можно в первый момент подумать, что перестановка коммутатора не должна была бы, собственно говоря, оказывать никакого влияния на разложение воды, так как в вольтаметре, в котором выделяется смесь обоих газов, направление тока не имеет значения, а потому объем газовой смеси должен оставаться постоянным при любом положении коммутатора. Но я еще раньше показал, что при правильном переключении направления тока, в тот момент, когда его сила равна 0, выделяющееся количество газа должно быть максимальным по двум причинам. А именно:

во-первых, прерывание тока продолжается в течение того промежутка времени, когда пружина лежит на непроводящем участке коммутатора, т. е. в моей магнито-электрической машине во время вращения приблизительно на 5°; при правильном положении коммутатора эти 5°, соответствующих прерыванию тока, попадают как раз в фазу периодического изменения тока, когда он равен почти 0, и таким образом не происходит почти никакой потери тока; при всяком же другом положении коммутатора ток прерывается в момент, когда он имеет заметную величину; поэтому и влияние на общую силу тока будет также заметно.

Во-вторых, здесь имеет место одно вторичное явление, имеющее еще большее значение. А именно, при неправильном положении коммутатора, на одном и том же электроде последовательно и очень быстро один за другим выделяются кислород и водород; известно, однако, что присутствие чистой поверхности платины вызывает соединение этих газов; поэтому в газовой форме мы имеем только часть газа, именно того, который на рассматриваемом электроде выделяется в избытке, и имеем притом в тем меньшем количестве, чем больше ток противоположного направления по отношению к первоначальному, т. е. чем дальше от того места, где ток равен 0, ток переключается коммутатором.

Далее, влияние этого ослабления будет тем значительнее, чем сильнее будет способность поверхности платины к соединению газов; именно поэтому мы обнаруживаем на самом деле, что влияние неправильного положения коммутатора выражено гораздо значительнее в вольтаметре IV с электродами, покрытыми платиновой чернью, чем в вольтаметре III с блестящими электродами. *Правильность* допущения этого вторичного действия платиновых пластинок на выделяющиеся при разложении газы лучше всего доказывается при пропускании тока через вольтаметр без всякого коммутатора, когда, следовательно, противоположно направленные токи имеют совершенно одинаковую силу; в этом случае действие было настолько сильно,

что при прочих условиях, одинаковых с теми, которые имелись в вышеприведенных опытах, в вольтаметре IV, с электродами, покрытыми платиновой черныю, не получалось и следа газа, хотя о силе проходящего тока можно было судить по сильным искрам, проскакивавшим при его прерывании.

Замечательно, как часто примешивается к явлениям сгущение газов на поверхности металла, в особенности на платиновых пластинках.

Газовая лампа Доберейнера, поляризация электродов, газовая батарея Грове, доказанное Якоби обратное соединение гремучего газа в вольтаметре,—все эти явления суть проявления одной этой причины. В связи с последним из них я должен еще упомянуть, что в вольтаметре IV это уменьшение количества гремучего газа проявлялось довольно сильно, а в вольтаметре III почти совсем не было заметно; все это полностью совпадает с опытами Якоби (Bull. phys.-math., t. VII, № 11, стр. 165 и 166) [7]. Интересно, что наиболее выгодное положение коммутатора в магнитоэлектрических машинах указывается еще другим явлением, всегда сопровождающим прерывание и изменение направления тока, а именно, образованием искр на коммутаторе. Эти искры были, например в моих опытах с вольтаметром (но также и в опытах с мультипликатором), очень сильны, когда прерывание происходило в положении естественного притяжения железных цилиндров магнитами, т. е. при положении коммутатора $=0$; они ослабевали тем более, чем больше положение коммутатора приближалось к правильному, и полностью прекращались при достижении последнего.

Этим дается, значит, простое практическое средство определения правильного положения коммутатора без всяких измерений; а именно, коммутатор поворачивается до тех пор, пока при выбранной скорости прекращается искрообразование; при этом окажется, что при другой скорости положение будет другое и что при правильном положении коммутатора при начале вращения получаются искры, пропадающие, однако, при дости-

жении намеченной скорости; эти начальные искры *не должны нас вводить в заблуждение.*

Я ограничиваюсь в этом первом сообщении теоретическим и экспериментальным установлением того факта, что в *магнитоэлектрических машинах, для достижения максимального действия, коммутатор должен иметь особое положение для каждой скорости, или, точнее, для каждой силы тока.* Многочисленные вытекающие отсюда следствия, равно как и дальнейшее рассмотрение обратного действия вторичного тока на первичный, если индукция сообщается не сразу (как уже с необходимостью следует из явлений магнетизма вращения), — все это должно составить предмет второго сообщения.

ВТОРОЕ СООБЩЕНИЕ

Доложено 24 июня 1853 г.

В первом сообщении я показал, что для достижения максимального действия в магнито-электрических машинах коммутатор должен для каждой скорости вращения и для каждой силы тока иметь особое положение на оси.

Ряд обстоятельств препятствовал мне опубликовать мои дальнейшие опыты по этому вопросу; за это время на него обратили свое внимание два других ученых, а именно — Синстеден (Pogg. Ann., Bd. LXXXIV, стр. 181) и Коозен (Pogg. Ann., Bd. LXXXVII, стр. 386).

Статья Синстедена озаглавлена „Значительное усиление магнито-электрического вращательного прибора и т. д.“ и в большей своей части не имеет отношения к моему предмету; я не намерен в настоящий момент рассматривать эту главную часть работы Синстедена, — которой, впрочем, по моему мнению, можно предъявить ряд обоснованных возражений, — здесь я обращаю внимание только на заключение, направленное против меня (стр. 212). Там говорится: „Г-н Ленц находит причину непропорциональности между нарастанием электродвижущей силы и скоростью вращения не столько в увеличивающемся ослаблении магнетизма железных сердечников при увеличении скорости вращения, влекущей за собой то, что железные сердечники, оказываясь на все более короткие промежутки времени перед магнитными полюсами той же высоты, могут все меньше и меньше магнитно насыщаться,

сколько скорее в реакции тока индуцируемых катушек на индуцирующий железный цилиндр“ и т. д., и т. д.... Я должен заметить, что это мое предположение ни в коем случае не является произвольной гипотезой; напротив, я был принужден отказаться от моего прежнего воззрения, совпадавшего с воззрениями Синстедена и всех прочих ученых, потому что закон приращения электродвижущей силы при одинаковом увеличении скорости вращения был совсем различен, смотря по тому, во-первых, как я включил мои 6 катушек, последовательно или параллельно, и, во-вторых, по тому, как изменялась сила тока в индуцируемых катушках, при включении бо́льших или меньших сопротивлений.

Мои заключения в упомянутом сообщении кажутся мне в этом отношении такими последовательными, что *следует принять положение*, что инерция (гистерезис) железа по отношению к магнетизму *ни в каком случае не может быть главной причиной* меньшего увеличения тока по сравнению с увеличением скорости. Я думаю, что всякий, кто внимательно ознакомится с заключениями моего первого сообщения, согласится со мной по этому вопросу.

Этого внимательного ознакомления с заключениями того, кого он хочет опровергать, я не вижу у г-на Синстедена; в противном случае он не мог бы меня обвинять в том, что в последующем он мне действительно вменяет в вину. Он говорит, что я принимаю во внимание только тот индуцируемый ток, который появляется при исчезновении магнетизма, и, напротив, пренебрегаю тем, который индуцируется при намагничивании железных сердечников. Однако уже при первом взгляде на кривую $NaSbN'$, которая в моем сообщении выражает изменения электродвижущей силы индуцируемого тока в его различных фазах, видно, что в частях от a до S и от b до N ток, индуцируемый при намагничивании, принят во внимание с точно такою же силою, как и ток, индуцируемый при исчезновении магнетизма, соответствующий частям кривой от N до a и от S до b. Здесь, очевидно, Синстеден

меня не понял. Однако это непонимание не есть просто следствие неясного изложения с моей стороны, — в этом отношении меня успокаивает цитированная выше статья Коозена, который полностью принимает правильность моих опытов и заключений и подтверждает их собственными опытами. Коозен пошел, однако, дальше и попробовал на примере кривой намагничения определенной формы, — т. е. для кривой линии, выражающей своими ординатами магнитную силу железных сердечников в ее различных фазах, — подсчитать математически, насколько изменяет явление действующая на железные сердечники магнитная сила индуцирующего тока и как должна зависеть от скорости сила индуцируемого тока. Если принятая кривая намагничения, или соответствующая ей функция, и не является истинной, — чего г-н Коозен и не утверждает, — и, напротив, необходимо должна быть различной для различных машин, смотря по тому, как расположены магнитные полюсы относительно железных сердечников, то все же даже для подобного воображаемого случая рассуждения г-на Коозена являются очень поучительными; впрочем, даваемый им вывод дифференциального уравнения меня не удовлетворил. А именно, мне кажется (стр. 392), что магнитный момент, действующий в течение момента времени dt от стального магнита на железный сердечник, должен выражаться не как $(M-y)\,dt$, а просто как Mdt; иначе говоря, этот момент не должен зависеть от магнетизма железного сердечника, уже возбужденного другими причинами. Впрочем, об этом может быть я объяснюсь подробнее в другом месте; здесь я предпочитаю в отношении нашего предмета не покидать области опыта.

Прежде чем переходить к моим дальнейшим опытам, я считаю долгом обратить внимание на то, что ранее не учитывалась необходимость передвижения коммутатора при каждом изменении скорости вращения или силы индуцированного тока, — необходимость, о которой говорилось в моем первом сообщении; это обстоятельство неминуемо должно было оказать существенное влияние на многие результаты, выведенные

из опытов с магнито-электрическими машинами ранее, чем влияние могло быть принято во внимание; поэтому его следствия приписывались другим причинам. Я подробнее разберу два таких случая.

Многократно делались попытки применять для гальванических целей вместо гидроэлектрических элементов магнито-электрические машины. По устному сообщению покойного капитана Евреинова (он ставил подобные опыты несколько лет тому назад на гальванической фабрике покойного герцога Лейхтенбергского и притом с той же машиной Штерера, которой и я пользовался в моих опытах), равномерное вращение производилось при этом при помощи небольшого водяного колеса. Но результат оказался неблагоприятным: осаждающаяся медь садилась не в виде прочной пластинки металла, как при употреблении гидроэлектрических элементов, а в виде рыхлой массы. Далее, конференция должна помнить, что наш коллега Гамель [8] уже несколько лет тому назад рассказывал об опытах в Англии, поставленных с тою же целью, но в гораздо бо́льших размерах; от них ожидались очень благоприятные результаты, но с тех пор про эти результаты ничего не известно; это, повидимому, указывает на их неудачу. Наконец, наш коллега г-н Якоби сообщает нам об одном случае, когда он действительно получил гальванопластический оттиск при помощи магнито-электрической машины (Bull. phys.-math., t. V, стр. 318); но и он добавляет при этом, что пластинка не обладала желательной гибкостью.

Причина неудач подобных опытов лежит в неправильном положении коммутатора, о чем тогда не было известно. А именно, коммутатор во всех случаях устанавливался таким образом, что переключение тока производилось в положении максимума притяжения магнитами железных сердечников. Но мы теперь знаем, что при таком положении коммутатора ток переключается не в той фазе, в которой он в действительности меняет направление, а раньше; поэтому небольшая часть тока должна была итти через соединительный проводник в направле-

нии, противоположном основному току. Если цепь замыкается через гальванопластический прибор, то в течение некоторого короткого промежутка времени на катоде имеет место выделение кислорода; гальванопластически восстановленная медь частично окисляется, и гальванопластическая пластинка оказывается состоящею из смеси металлической меди и окиси или закиси меди, так что она не может образовать прочную металлическую пластинку.

Итак, при подобных опытах — при применении постоянной равномерной скорости вращения и в предположении неизменного сопротивления гальванопластического прибора — необходимо каждый раз тщательно определять, какое положение на оси должно давать коммутатору. Это обстоятельство затрудняет применение магнито-электрических машин для гальванических целей и вообще для химических разложений.

Второй случай, когда я применяю смещение нулевого положения индуцируемого тока для объяснения уже известного факта, представляет явление, на которое обратил внимание на конференции наш коллега г-н Якоби (Bull. phys.-math., t. V, стр. 106). А именно, он определял электродвижущую силу магнито-электрической машины обычным способом, изменяя сопротивление магнито-электрической цепи при помощи агометра и наблюдая на мультипликаторе соответствующие этим изменениям силы тока; при этом он пришел к результату, что электродвижущая сила магнито-электрической машины оказывается тем большею, чем больше включенное сопротивление. Коммутатор был при этом, как почти всегда до сих пор, поставлен так, что перемена направления тока происходила тогда, когда железные сердечники стояли как раз против магнитных полюсов; следовательно, часть тока шла через мультипликатор в противоположном направлении и уменьшала таким образом отклонение его стрелки. Так как для избежания этого явления надо переставлять коммутатор, чем больше ток, т. е. чем меньше сопротивление агометра, то ослабление тока в мультипликаторе получалось тем больше,

чем меньше было сопротивление; а потому электродвижущая сила в этом случае должна была показаться меньше.

Я поставил несколько опытов с моей штереровской машиной и с нервандеровским мультипликатором, чтобы посмотреть, каков будет результат при правильном положении коммутатора.

Для этой цели я сначала определил, на сколько надо при каждой силе тока переставлять коммутатор, чтобы получать максимум силы тока. Я нашел следующие значения:

Отклонение мультипликатора	Положение коммутатора
5°	16°5
10	16.5
15	16.5
20	18.0
25	18.5
30	24.0

Передвигая агометр до положения определенного отклонения и устанавливая при этом коммутатор в соответствии с данными вышеприведенной таблицы, я сделал следующие наблюдения (вместо отклонений стрелки мультипликатора я сразу привожу соответствующие силы тока):

Сила тока	Агометр
5.01	42.11
10.10	17.53
15.35	9.14
20.85	4.74
26.71	2.03
33.08	—0.04

В последнем наблюдении ролик агометра был отодвинут на 0.04 за ту точку проволоки агометра, которая соответствует нулевому делению его шкалы; поэтому здесь и стоит знак минус.

В предположении, что электродвижущая сила во всех этих случаях постоянна и равна k, я получаю следующие уравне-

ния, в которых $F, F', F''\ldots$ — силы тока; $a, a', a''\ldots$ — соответствующие отсчеты по агометру; L — сопротивление цепи при включении одного только агометра:

$$F=\frac{k}{L+a},\quad F'=\frac{k}{L+a'},\quad F''=\frac{k}{L+a''},\ldots$$

или

$$L+a=\frac{k}{F},\quad L+a'=\frac{k}{F'},\quad L+a''=\frac{k}{F''}\ldots \tag{1}$$

Далее, я принимаю, что при установке агометра на силу тока $F=5.01$ произошла ошибка x, вследствие чего я вместо $L+a$ должен положить $L+a+x$; вычитая из исправленного таким образом первого уравнения по очереди все прочие, я получаю следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned}(a-a')+x&=k\left(\frac{1}{F}-\frac{1}{F'}\right),\\(a-a'')+x&=k\left(\frac{1}{F}-\frac{1}{F''}\right),\end{aligned} \tag{2}$$

и т. д.

Решая эти уравнения по способу наименьших квадратов, я получаю для нашего случая:

$$x=1.06 \quad \text{и} \quad k=254.16.$$

Подставляя это значение x в уравнения (2) и определяя из каждого из них величину k, получаю для значений k следующую таблицу (в правом столбике я поместил разности между этими значениями k и средним значением $k=254.16$):

Сопротивление	k	Разность
17.53	254.90	+0.74
9.14	253.11	—1.05
4.74	253.43	—0.73
2.03	253.70	—0.46
—0.04	255.15	+0.95

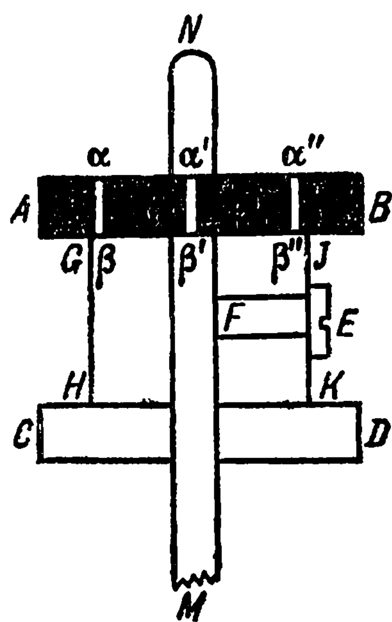
Отклонения, вообще говоря, незначительны; при сохранении первого числа нельзя усмотреть какой-нибудь правильный ход разностей.

Но если отбросить первое значение разностей, как отягощенное случайной ошибкой, то можно подметить *нарастание* — правда слабое — *электродвижущей силы с уменьшением сопротивления*. Этот результат является, однако, прямо противоположным результату Якоби, полученному без перестановки коммутатора.

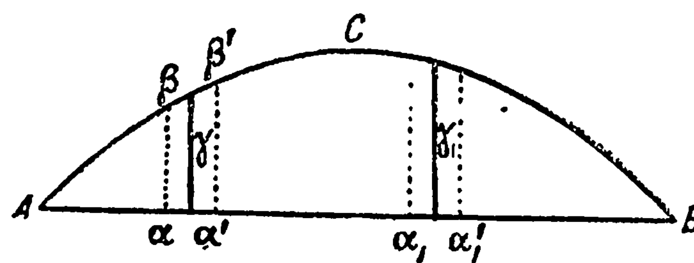
Обратимся теперь к продолжению моих опытов по влиянию скорости вращения на силу индуцируемого тока; я должен прежде всего отметить, что уже в первом моем сообщении было ясно выявлено, какую пользу мы получаем при изучении действия магнито-электрических машин от того, что рассматриваем явление в *отдельных его фазах*, т. е. при различных положениях железного сердечника относительно магнитных полюсов, между которыми он движется; ясно также, что эти рассуждения чрезвычайно выигрывают в наглядности, если пользоваться, как это было сделано там, методом *графического построения*.

Я начал поэтому с изучения силы возбуждаемого индукцией тока в его различных фазах. Для этой цели я заказал коммутатор следующей конструкции: деревянная катушка *GHJK*, просверленная вдоль, надевалась на ось вращения *MN* магнито-электрической машины и могла на ней быть закреплена в любом положении при помощи винта *EF*. На двух концах деревянной катушки были укреплены 2 цилиндрических обточенных железных пластины *CD* и *AB*; *CD* была оставлена сплошной, а на *AB* были вырезаны 6 секторов, в которые затем были вставлены секторы из изоляции; таким образом поверхность пластины *AB* оставалась точно цилиндрической, но в металлическом соединении с центральными частями пластины были только 6 *проводящих железных полосок* $\alpha\beta$, $\alpha'\beta'$, $\alpha''\beta''$... Середины этих проводящих полосок, угловая ширина которых составляла 3°, отстояли друг от друга

точно на 60°. С средней частью пластинки AB был соединен один конец включенных последовательно индукционных катушек; с нижней сплошной пластинкой CD — другой конец этих катушек. К цилиндрическим поверхностям пластин прикасалась своим ребром скользящая по поверхности пружина; ясно, что при соединении концов пружин с прибором, через который должен пускаться индукционный ток, ток будет итти только тогда, когда верхняя пружина, скользящая по пластине AB, будет соприкасаться с одной из проводящих полосок $\alpha\beta$, $\alpha'\beta'$, $\alpha''\beta''$ и т. д. Каждый железный сердечник двигается от одного полюса машины к другому, и при этом перемещении на 60° в каждый следующий момент в индукционных катушках возникает другая электродвижущая сила; ясно, что ток возникает только в течение $\frac{3}{60}=\frac{1}{20}$ этого перемещения. Изобразим,



Фиг. 2.



Фиг. 3.

как в первом сообщении, путь одного из железных сердечников от одного магнитного полюса к другому через прямую ось абсцисс AB (фиг. 3), так что длина этой линии соответствует 60°; пусть далее ACB изображает ту кривую, ординаты которой пропорциональны возбуждаемой посредством индукции электродвижущей силе, но истинная кривизна которой нам пока не известна. Если $\alpha\alpha'$ есть положение одной из 6 проводящих полос коммутатора, то из всего индукционного тока, пропорционального площади между ACB и AB, проявляется только участок $\alpha\beta\alpha'\beta'$. Поэтому при включении в индукционную сеть прибора, измеряющего силу индукционного тока, последний будет давать нам отчет только об участии $\alpha\alpha'\beta\beta'$.

Если принять небольшой участок кривой $\beta\beta'$ за прямолинейный, то измеряемая величина пропорциональна площади трапеции $\alpha\alpha'\beta\beta'$ и может быть выражена произведением $\alpha\gamma$, где γ — ордината середины участка $\alpha\alpha'$ и α есть сокращенное обозначение $\alpha\alpha'$. При повороте деревянного цилиндра коммутатора вокруг его оси проводящая полоска перемещается на другое место линии абсцисс AB, например $\alpha_1\alpha_1'$; теперь мы измеряем трапециевидную площадь $\alpha\gamma_1$, и т. д. Количества тока, измеренные в разных точках, пропорциональны $\alpha\gamma : \alpha\gamma_1 : \alpha\gamma_2$, и т. д., или $\gamma : \gamma_1 : \gamma_2 \ldots$, так как ширина полос α все время остается неизменной. Поэтому результаты, даваемые измерительным прибором, пропорциональны тем силам токов, или, так как сопротивление цепи остается постоянным, тем *электродвижущим силам индукционного тока, которые соответствуют серединам проводящих полосок.* Если есть возможность устанавливать эту середину по желанию и точно измерять это положение, то мы оказываемся в состоянии определять электродвижущую силу индукционного тока для каждой его фазы. Для того чтобы можно было производить такую установку надежно, на верхней пластине AB коммутатора была нанесена шкала, а на оси вращения укреплен указатель, который, по закреплении винта EF, давал с точностью положение проводящей полоски. Оставалось только определить, при каком положении указателя положение скользящих пружин на середине проводящих полосок совпадает по времени с моментом противостояния железных цилиндров магнитным полюсам; это положение я называю *нормальным положением коммутатора.* Количество градусов, на которое поворачивались проводящие полоски из этого нормального положения, считая в сторону вращения, я буду называть *азимутом коммутатора.* Азимут коммутатора, деленный на 60, дает тогда фазу, в которой находится железный цилиндр и от которой зависит индукция, или *фазу индукции.* Из вышесказанного следует само собой, что я наблюдал электродвижущую силу не одного индукционного цилиндра, но всегда сумму 6 электродвижущих сил

индукционных токов, которые, однако, все одновременно находились в одной и той же фазе.

Следует отметить, что как при включении тока, так и при его выключении, т. е. при начале и конце касания скользящих пружин к проводящей полосе, возникают вторичные токи, которые должны действовать на измерительный прибор; так как, однако, их направления взаимно противоположны, то один из них ослабит силу первичного тока на столько же, насколько ее увеличит второй; поэтому мы можем не принимать вторичных токов во внимание.

Для измерения токов, индуцируемых при таком коммутаторе, как наш, нельзя пользоваться обычным мультипликатором, так как 2 следующих друг за другом индукционных тока одной и той же полоски направлены в противоположные стороны, так что при быстром вращении стрелка мультипликатора будет непрерывно получать толчки, одинаковые по величине, но меняющиеся по направлению, и поэтому отклонений никаких не покажет. Я пользовался поэтому в качестве измерительного прибора веберовским электродинамометром, в котором, как известно, отклонение не зависит от направления пропускаемого тока.

Этот прибор был построен в точности по указаниям Вебера [9] даже с соблюдением всех данных там размеров, почему я и отсылаю к статье Вебера. Здесь достаточно напомнить, что прибор состоит из неподвижной мультипликационной катушки, внутри которой на бифилярном подвесе может вращаться цилиндрическая электродинамическая катушка. На этой подвижной катушке, которая, следовательно, становится на место магнитной стрелки обыкновенного мультипликатора, укреплено зеркальце, через которое наблюдается изображение неподвижной горизонтальной шкалы, разделенной на половины английских линий; при этом пользуются зрительной трубой, совсем как в гауссовском магнитометре. Расстояние от зеркальной поверхности до шкалы составляло 4308.2 деления шкалы (около 17 футов); следовательно, отклонение перекре-

стия нитей в зрительной трубе на 1 деление шкалы составляет 23."94; так как наглаз можно было отмечать еще десятые доли, то граница возможного отсчета положения бифилярной катушки составляла 2."4. Вследствие эксцентрического положения зеркала тангенсы углов отклонения не являются непосредственно пропорциональными отсчитанным по шкале отклонениям; требуется небольшая поправка, даваемая выражением $-\frac{1}{4}\frac{m^3}{d^2}$, где m — наблюденное отклонение шкалы и d — расстояние от шкалы до зеркальной поверхности. Для нашего расстояния поправка равна $0.00000001347\ m^3$; отсюда можно вычислить следующую таблицу поправок:

Для $m = 100$	Поправка $= -0.01$
200	-0.11
300	-0.36
400	-0.86
500	-1.68
600	-2.91
700	-4.61

Поправки для промежуточных отклонений могут быть легко определены отсюда интерполированием.

В моих опытах максимальная величина угла отклонения не превышала 4°; при таких малых углах отношение тангенсов углов отклонения может быть заменено отношением синусов; так как вращающие моменты бифилярной катушки пропорциональны синусам, можно принять, что наблюденные по шкале отклонения электродинамометра, по введении небольших поправок, пропорциональны вращающим моментам. Но корням квадратным этих моментов пропорциональны силы токов, т. е. и электродвижущие силы, если сопротивления во всех опытах данной серии неизменны.

Бифилярная катушка приводилась сначала в меридиан путем поворота подвесной головки подвеса; о правильности установки можно было судить по тому, что ток, проходивший только через

катушки, не вызывал никакого (или почти никакого) отклонения.

При соединении штереровской машины с электродинамометром получался ток такой силы (несмотря на малую ширину проводящей ленты в коммутаторе), что бифилярная катушка выбрасывалась далеко за пределы шкалы; я должен был вводить в цепь всю мою систему сопротивлений для такого ослабления тока, чтобы можно было наблюдать большие отклонения по шкале. В цепь тогда были включены следующие сопротивления, выраженные в единицах одного витка моего агометра:

Сопротивление системы и вспомогательных приводов	6746.54
„ электродинамометра	329.60
„ машины Штерера	29.11
„ всего	7105.35

Действующие здесь токи являются, значит, очень слабыми; их можно сравнить с теми, которые я измерял в моей первой работе мультипликатором S.

Действительно, мои опыты с гидроэлектрическими элементами убедили меня в том, что если в каждом из моих измерительных приборов — электродинамометре, мультипликаторе S и нервандеровском мультипликаторе N — принять за единицу отклонение на 1 деление или на 1°, то единица электродинамометра составляет $\frac{1}{352}$, а единица мультипликатора S составляет $\frac{1}{455}$ единицы мультипликатора N. Последняя же соответствует электролизу 41.16 см^3 гремучего газа в минуту.

Опыты ставились следующим образом. Электродинамометр находился в комнате, в которой я сам наблюдал в зрительную трубу отклонения бифилярной катушки; машина Штерера стояла в другой комнате, на расстоянии около 60 футов, и приводи-

лась во вращение моим помощником; я мог по желанию соединять или разъединять эти приборы (включая и систему сопротивлений) при помощи достаточно длинных проводов. Перед соединением я наблюдал положение бифилярной катушки без тока, или, так как она редко была в покое, скорее — наибольшие отклонения перекрестия нитей на шкале в обе стороны — как правило, 3 раза в одну сторону и 2 раза — в другую. В качестве примера привожу следующие наблюдения:

Наибольшие отклонения перекрестия налево		Наибольшие отклонения перекрестия направо		среднее положение
(1) 829.7	среднее = 829.7	(2) 831.7	среднее = 831.7	830.7
(3) 829.7		(4) 831.7		
(5) 829.7				

Цифры в скобках дают порядок наблюдений. Тем, что я закончил серию наблюдением отброса в левую сторону, я старался достигнуть того, чтобы наблюдения влево и вправо относились по возможности к одинаковым моментам времени.

После того, как я таким образом определил положение бифилярной катушки без тока, мой помощник начинал вращать машину Штерера, стараясь поддерживать скорость вращения возможно более равномерною, регулируя ее по ударам метронома. По достижении равномерного вращения он давал знак, а я замыкал цепь и вновь наблюдал наибольшие отклонения бифилярной катушки вправо и влево; помощник в это время стремился поддерживать равномерную скорость вращения. Разность между полученными отсюда средними положениями и их средним положением без тока давала *отклонение катушки*. Ясно, что здесь, когда отклонение вызывается рядом быстро следующих друг за другом токов, невозможно достигнуть такой же точности, какую мы получаем при определении среднего положения бифилярной катушки без тока или даже к какой мы привыкли при магнитометрических опытах. При очень боль-

ших неправильностях в колебаниях я пытался уменьшить неопределенность путем наблюдения большего числа колебаний; чтобы дать понятие об одном из таких наблюдений, которое менее всего может претендовать на точность, я привожу данные действительного наблюдения:

Отбросы катушки налево		Отбросы катушки направо		средний отброс
(1) 1408.0				
(3) 1384.0	среднее = 1401.0	(2) 1328		
(5) 1423.0		(4) 1313	среднее = 1311.8	1356.4
(7) 1389.0		(6) 1294		

Если бы мы взяли среднее отдельно из наблюдений (1), (2), (3), а затем (3), (4), (5) и, наконец, (4), (5), (6), то мы получили бы:

Из (1), (2), (3)	отклонение	= 1362.0
„ (3), (4), (5)	„	= 1358.5
„ (5), (6), (7)	„	= 1350.0
	Среднее	= 1356.8

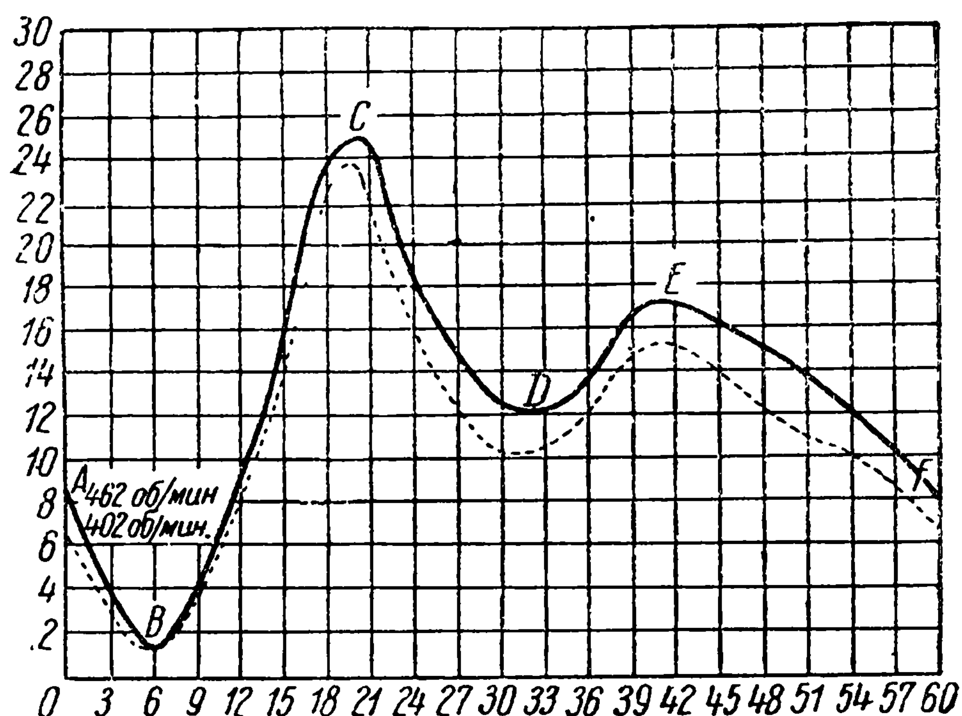
Мы видим, таким образом, что отклонения отдельных определений от общего среднего доходят до 6.4; так что ошибка среднего из всех наблюдений может доходить до нескольких целых делений. Так как положение бифилярной катушки без тока было 830.7, то отклонение равно 1356.4 — 830.7 = 525.7, и возможная ошибка при определении этого отклонения может быть оценена в $\frac{1}{100}$. Мы увидим в дальнейшем, что подобная погрешность для наших дальнейших выводов окажется несущественной. Переходим к опытам.

Обмотки индукционного цилиндра были соединены последовательно (соединение 6); скорость вращения была 562 оборота в минуту; 2 ряда опытов, поставленных в 2 дня, следующих друг за другом, дали следующие отклонения бифилярной катушки (табл. на стр. 207; в числа уже внесена поправка):

Азимут коммутатора	Отклонение		Среднее	Сила тока
	1-й ряд	2-й ряд		
0°	69.3	78.3	73.8	8.58
3	20.7	20.3	20.5	4.53
6	1.5	1.7	1.6	1.27
9	11.7	13.3	12.5	3.53
12	58.8	79.1	68.9	9.31
15	226.8	249.3	238.0	15.43
18	525.4	586.3	555.9	23.58
21	619.3	627.2	623.2	24.96
24	360.6	392.3	376.4	19.40
27	...	240.0	240.0	15.49
30	160.6	165.7	163.1	12.77
33	...	149.1	149.1	12.21
36	171.7	177.6	174.6	13.21
39	...	312.9	312.9	17.69
42	291.7	239.1	290.4	17.04
45	...	272.3	272.3	16.50
48	246.0	239.1	232.5	15.25
51	...	205.2	205.2	14.33
54	150.0	161.5	155.7	12.48
57	...	116.2	116.2	10.78
60	48.3	47.7	48.8	6.93

При сравнении соответственных чисел обоих рядов мы находим в общем вполне удовлетворительное совпадение; числа второго ряда в общем только несколько больше соответствующих чисел первого ряда, что, вероятно, можно приписать тому обстоятельству, что в этом случае скользящие по коммутатору острые края латунных пружин несколько сработались, т. е. стали шире, чем вызывалось более длительное замыкание цепи. Так как закон изменения силы тока в обоих рядах, очевидно,

одинаков, то я взял среднее из соответственных чисел того и другого ряда; эти числа приведены в четвертом столбце. Так как отклонения электродинамометра пропорциональны квадратам сил токов, то пятый столбец дает корень квадратный третьего, т. е. силы токов. Чтобы наглядно показать изменение электродвижущей силы в ее различных фазах, я провел кривую (сплошная верхняя кривая — фиг. 4) по числам последнего столбца; здесь абсциссами служат азимуты коммутатора, а ординатами — соответствующие электродвижущие силы; расстояние между горизонтальными линиями на сетке рисунка соответствует 2 единицам силы тока.



Фиг. 4.

При рассмотрении этих кривых мы видим, что электродвижущая сила падает, начиная с нормального положения железных цилиндров, когда они как раз противостоят магнитным полюсам, до угла 6°; кроме того, в области от 0 до 6° направление тока противоположно тому, какое он имеет в прочих азимутах, что, впрочем, не обнаруживается электродинамометром, но известно из первой статьи. Почти на расстоянии 6°, т. е. десятой доли всего перемещения цилиндра от одного полюса к другому, электродвижущая сила равна 0; следовательно, на такой угол нужно повернуть обычный коммутатор, чтобы получать ток постоянно одного направления. Отсюда электродвижущая сила индуцируемого тока быстро растет до 21°, где достигается абсолютный максимум; затем так же быстро убывает, достигает при 33° минимума (который имеет величину меньше половины максимума), опять возрастает

до 42°, где наступает второй максимум, составляющий, однако, лишь $^2/_3$ первого; затем электродвижущая сила уменьшается сравнительно равномерно и, вероятно, достигла бы опять нуля по ту сторону второго магнитного полюса.

Второй ряд наблюдений был произведен при меньшей скорости вращения, а именно при 402 оборотах в минуту. Наблюдения сведены в нижеследующей таблице:

Азимут коммутатора	Отклонение	Сила тока	Азимут коммутатора	Отклонение	Сила тока
0°	47.9	6.92	33°	107.8	10.38
3	9.7	3.11	36	134.4	11.59
6	1.7	1.30	39	205.3	14.33
9	13.8	3.71	42	231.6	15.23
12	70.4	8.39	45	205.7	14.34
15	141.8	13.11	48	157.4	12.40
18	514.0	22.67	51	122.4	11.06
21	545.3	23.35	54	126.1	11.23
24	294.5	17.16	57	82.3	9.07
27	160.5	12.66	60	32.4	5.63
30	111.0	10.53			

Эти значения нанесены на фиг. 5 пунктирной линией, имеющей, как ясно, такой же характер, как и сплошная линия при 562 оборотах в минуту, только ординаты несколько меньше. Но и здесь видно, что ординаты кривой, соответствующей скорости 402 [оборота в минуту], возрастают, по сравнению с кривой для 562, в отношении меньшем чем $\frac{562}{402}$, что вновь показывает, что сила тока возрастает не так быстро, как скорость вращения.

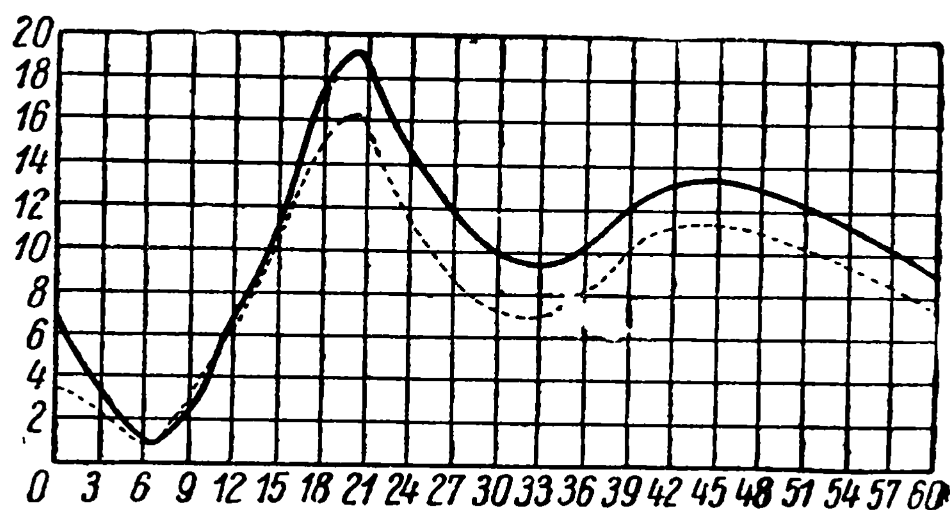
Наконец, я поставил еще 2 опыта в почти тех же условиях, но только с другим коммутатором, в котором было только 3 проводящих полоски, отстоящих друг от друга на 120°, так что при одном обороте ток менял направление не 6, а только

3 раза. В следующей статье я опишу этот коммутатор подробнее; для данной цели достаточно сказанного. Наблюдения сведены в таблице:

Азимут коммутатора	[Скорость]			
	462 оборота в минуту		348 оборотов в минуту	
	отклонение	ток	отклонение	ток
0°	46.2	6.80	28.8	5.37
3	13.9	3.73	7.3	2.70
4.5	...	...	2.1	1.44
5.2	...	...	1.7	1.30
6	0.9	0.95	1.1	1.04
6.75	...	...	2.1	1.44
7.5	1.7	1.30	4.4	2.10
9	5.8	2.41	10.4	3.22
12	43.6	6.60	34.9	5.91
15	114.6	10.70	106.7	10.33
18	286.1	16.91	214.5	14.64
19.5	357.7	18.90	248.1	15.75
20.3	...	...	262.5	16.20
21.0	359.7	18.96	254.7	15.96
21.75	271.5	16.51	217.1	14.73
24.0	223.3	14.94	136.4	11.68
27	135.2	11.63	76.6	8.75
30	96.0	9.80	53.5	7.31
33	88.4	9.40	49.4	7.03
36	100.5	10.02	64.2	8.01
39	144.8	12.03	103.6	10.18
42	171.9	13.11	125.8	11.22
45	180.5	13.43	125.4	11.20
48	173.1	13.15	127.4	11.29
51	153.5	12.39	109.8	10.48
54	137.1	11.71	88.9	9.43
57	113.6	10.66	70.9	8.42
60	84.3	9.18	54.5	7.38

Оба эти ряда графически изображены на фиг. 5. Закон изменения тока здесь такой же, как и при работе с прежним коммутатором, с той разницей, что второй максимум здесь наступает несколько позже, а именно при 45°, тогда как там мы его видим уже при 42°; эта разница вызывается, вероятно, тем, что максимум лежит собственно между 42 и 45°, что различить нельзя, так как наблюдений между этими 2 азимутами недостаточно.

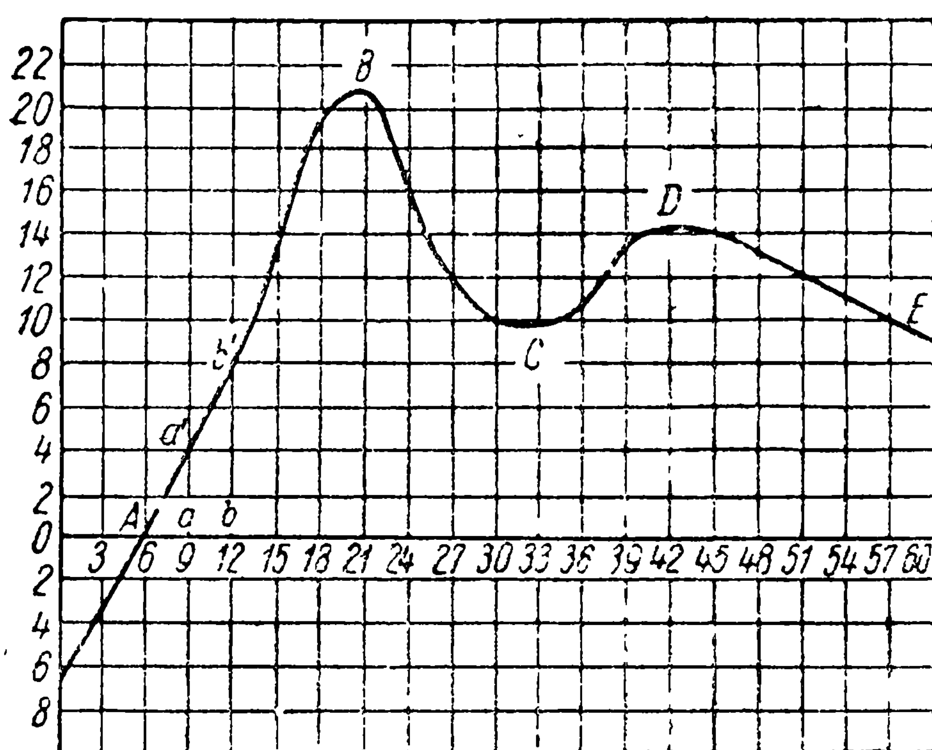
Для дальнейших выводов из всех этих наблюдений, я полагаю, опираясь на большое совпадение 4 серий в отношении формы полученных кривых, что мы вправе провести усредненную кривую по всем 4 кривым, т. е. взять среднее из всех 4 ординат, соответствующих одному и тому же азимуту. Таким путем погрешности наблюдений будут исключены в большей степени, и закономерность кривой выступит резче. Эта средняя кривая изображена на фиг. 6.



Фиг. 5.

Кривизна этой *кривой индукции* позволяет делать заключения об изменениях магнетизма, происходящих в железных цилиндрах при изменении их расстояний до магнитных полюсов; для этого нужно только помнить, что сила тока индукции, в каждой из его фаз, пропорциональна соответственному изменению магнетизма. Пусть мы хотим представить это графически, посредством некоторой кривой, которую мы назовем *кривой изменения намагничения* железных цилиндров; тогда углы наклона касательных кривой намагничения должны быть пропорциональны ординатам кривой индукции. Если принять, что для каждой фазы кривой индукции участок кривой между 2 ординатами, соответствующими серединам предыдущего и последующего промежутков времени, можно считать прямо-

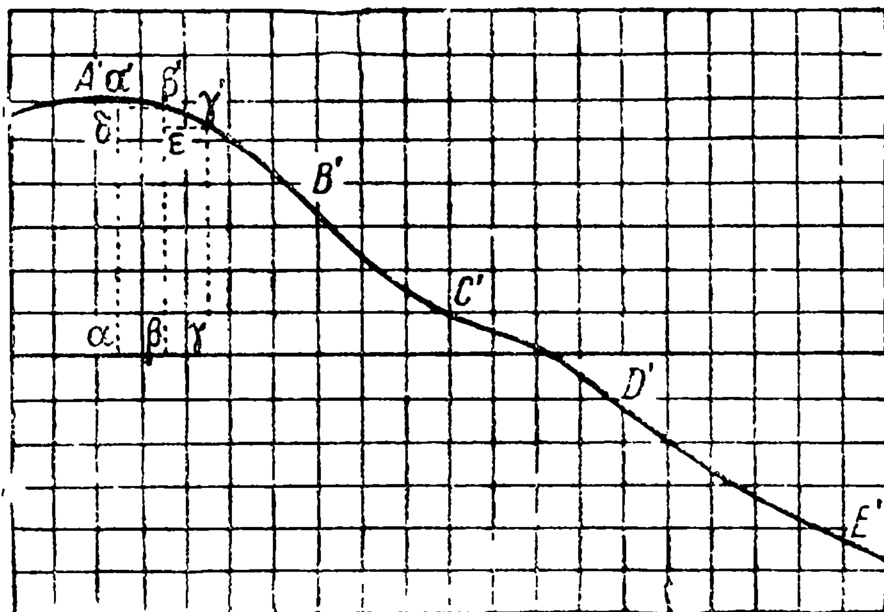
линейным, то наклон касательной измеряется разностью ординат, соответствующих этим средним точкам; таким путем мы приходим к следующему построению кривой намагничения (фиг. 7), по средней кривой индукции (фиг. 6): я начинаю построение с фазы 6, так как здесь ордината кривой индукции равна 0, т. е. кривая намагничения может считаться горизонтальною, что и имеет место около A'. Чтобы получить ординату кривой намагничения для фазы 9°, я принимаю, что участок кривой индукции от 7.5 до 10.5 является прямолинейным; тогда разность соответствующих ординат $\alpha\alpha'$ и $\beta\beta'$ должна быть пропорциональна ординате кривой индукции, т. е. должна быть выражена через $n \cdot aa'$. Величина n может быть выбрана произвольно; это скажется только на большей или меньшей крутизне кривой намагничения. Я взял значение $n=\frac{1}{10}$, так что $\delta\alpha'=\frac{1}{10}\,aa'$. Равным образом $\beta\beta'-\gamma\gamma'$ или $\varepsilon\beta'=\frac{1}{10}\,bb'$, и т. д. Уменьшив таким образом постепенно ординаты кривой намагничения, я получил кривую намагничения $A'B'C'D'E'$, которая соответствует кривой индукции $ABCD$.



Фиг. 6.

Действительно, можно видеть, что причина малого наклона кривой индукции от A до b' заключается в малом изменении магнетизма от A до γ'; напротив, сильный наклон от b' до B обусловлен тем, что спад становится все более крутым от γ' до B'. При B' имеет место точка перегиба кривой намагничения, и, начиная с нее, следовательно, крутизна кривой на-

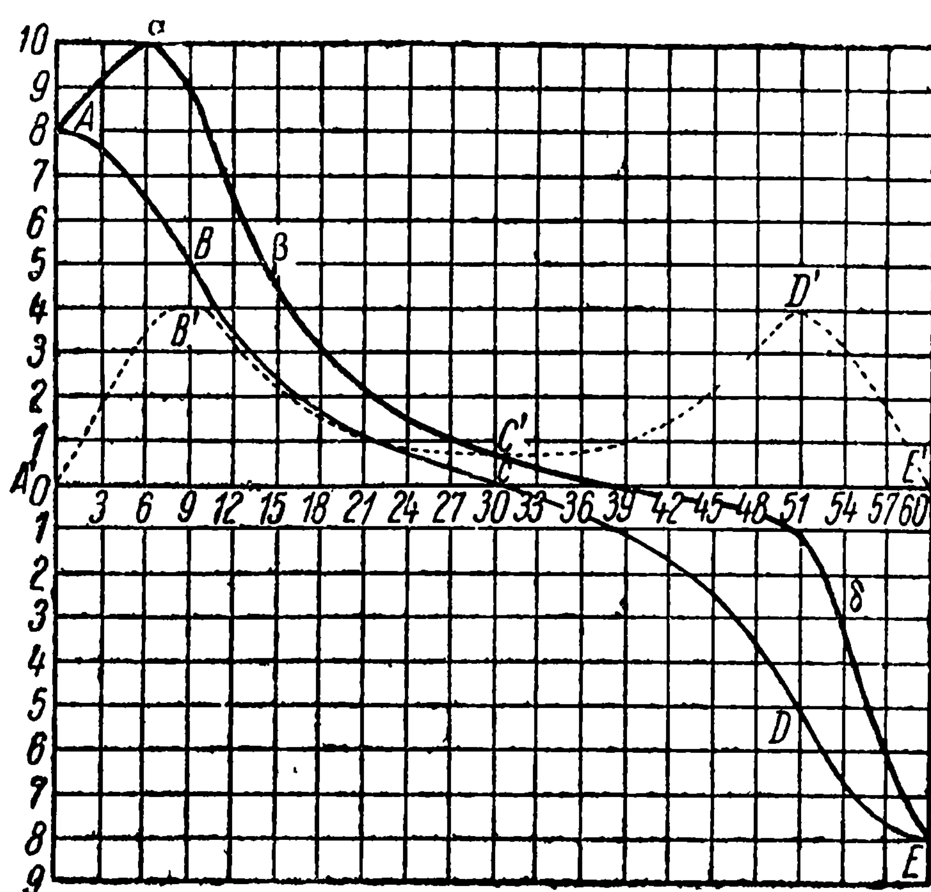
магничения резко падает; поэтому ток индукции при B имеет наибольшее значение; далее ток быстро спадает и принимает наименьшее значение при C, так как кривая намагничения имеет при C вторую точку перегиба, так что при C спадание меньше всего; от этой точки ток опять увеличивается, что подтверждается тотчас же подъемом кривой индукции. При D' опять имеется точка перегиба кривой намагничения; она соответствует второму небольшому максимуму кривой индукции при D. Оттуда, наконец, крутизна кривой намагничения постепенно уменьшается, также, следовательно, уменьшаются и ординаты кривой индукции, пока кривая индукции не пересечет ось при фазе 6° следующего периода за следующим магнитным полюсом; здесь ток индукции будет равен 0. Таким образом, вид кривой намагничения определяется точками $A'B'C'D'E'F'$, и остается только определить, где должна проходить ось абсцисс, и какая точка на ней соответствует магнетизму 0. Надежно установить это по имеющимся данным не представляется возможным; я принял, что нулевая точка смещена от середины в правую сторону на такую же величину, на какую смещен максимум магнетизма из фазы 0, т. е., приблизительно, на 6°, и провел поэтому линию абсцисс через фазу 36°.



Фиг. 7.

При сравнении нашей средней кривой индукции $ABCDEF$ с вторичной индукционной кривой, теоретически выведенной в моей первой статье ($A'\alpha\beta\gamma\delta C'$ — по тамошним обозначениям, фиг. 1, стр. 182), тотчас бросается в глаза значительное различие: наша нынешняя кривая имеет 2 максимума с лежащим между ними минимумом, тогда как теоретически обнаружи-

вается только 1 максимум. Легко понять, что это различие вызывается тем, что *первоначальная кривая намагничения* железных цилиндров, принятая в моем первом сообщении (пунктирная линия *ADBEC*) совершенно произвольно, на самом деле не верна. До сих пор я не имел возможности определить первоначальную кривую намагничения штереровской машины; только изучение изменения магнетизма при перемещении индуцируемых железных цилиндров в другой машине такого же типа, где, однако, вместо подковообразных стальных магнитов стоят электромагниты, — только это изучение позволит мне судить о характере первоначальной кривой намагничения для машины Штерера. Я остановлюсь в следующем сообщении на этих опытах с такой машиной; здесь я ограничусь тем, что приведу кривизну первоначальной кривой намагничения, какою она, приблизительно, должна быть для штереровской машины. Эта первоначальная кривая намагничения изображена на фиг. 8 *ABCDE*. Отличительной ее чертой является то, что в ней при *B* и *D* имеются точки перегиба, в которых вогнутость (считая, как обычно, от оси абсцисс) переходит в выпуклость; в этих точках наклон касательной линии имеет наибольшую величину; и той и другой точке, следовательно, соответствует максимум тока индукции. Третья точка перегиба находится между ними в точке *C*, где магнетизм одного знака переходит в другой; она соответствует минимальному наклону касательной линии, т. е. минимуму индукции.



Фиг. 8.

Построим теперь эту линию кривой индукции, идя в обратном направлении, т. е. полагая ординаты кривой индукции пропорциональными разностям соседних ординат кривой намагничения; тогда мы получим пунктирную линию $A'B'C'D'E'$. Этот ток индукции вызывает, однако, вторичный магнетизм, который может быть изображен кривой совершенно такого же характера, как и кривая индукции; если поэтому мы, чтобы не очень усложнять рисунок, примем ту же пунктирную линию $A'B'C'D'E'$ за кривую, выражающую производимый током индукции вторичный магнетизм, то мы получим суммированием ординат этих 2 кривых намагничения результирующую $A\beta\gamma\delta E$, которая соответствует выведенной из опыта (фиг. 7) и, следовательно, может быть с ней сравниваема.

Из такого сравнения видно, что действительно общий характер этих 2 кривых намагничения одинаков; в обоих случаях максимум расположен не там, где железные цилиндры противостоят магнитным полюсам, но в некотором расстоянии в сторону движения; обе кривые имеют точки перегиба при β (фиг. 8) и B' (фиг. 7), при δ (фиг. 8) и D' (фиг. 7) и, наконец, вблизи от их пересечения с осью абсцисс. У обеих кривых первая спадающая ветвь смещена вправо, но вторая возрастающая ветвь в экспериментальной кривой смещена вправо в меньшей степени, чем в теоретической. Вообще на теоретической кривой замечаются 2 совершенно симметричных половины, чего не наблюдается в экспериментальной. О причине этих разногласий я пока не могу сказать ничего.

Таковы результаты моих опытов с электродинамометром; они относятся к очень слабым токам. Я полагал поэтому, что необходимо теперь же исследовать это явление для более сильных токов, которые я могу наблюдать с помощью моего нервандеровского мультипликатора. Для этого прежде всего потребовался бы другой коммутатор, который уже изготовлен; его описание, равно как и полученные с ним результаты я оставляю, однако, до следующего сообщения.

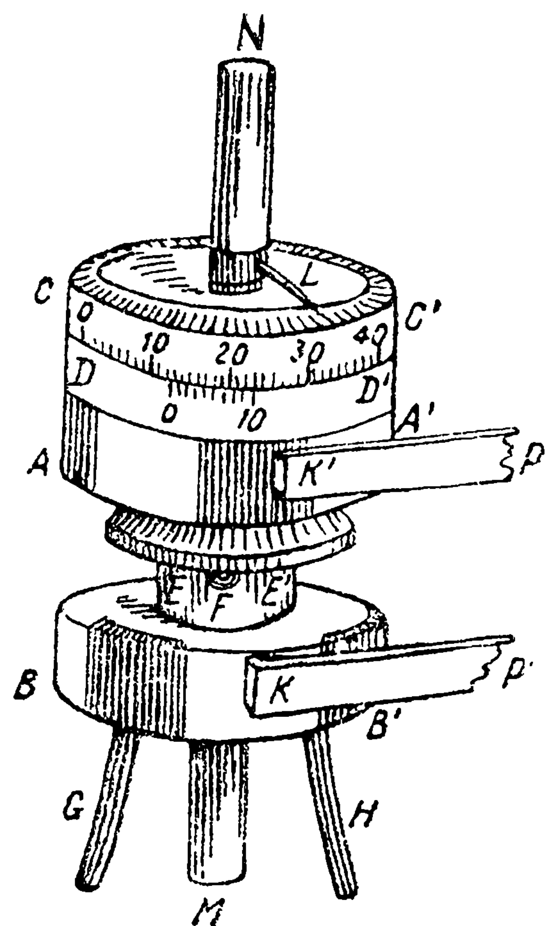
ТРЕТЬЕ СООБЩЕНИЕ

Доложено 12 июня 1857 г.

В конце моего второго сообщения по этому вопросу я уже упоминал, что моя ближайшая задача будет заключаться в следующем: распространить результаты, полученные для фаз индукционного тока магнито-электрической машины в случае очень слабых токов, также и на токи более сильные, чем исследованные до сих пор. В частности, это относится к токам, которые я мог измерить на моем нервандеровском мультипликаторе; для этой цели я заказал тогда коммутатор новой конструкции.

Сейчас я и начинаю с описания этого коммутатора; для более ясного понимания его, я напоминаю читателю некоторые данные из моих прежних статей, а именно: что моя магнито-электрическая машина (системы Штерера) состоит из подковообразных магнитов, что 6 полюсов этих магнитов лежат в одной горизонтальной плоскости и что они образуют 6 вершин правильного шестиугольника; над ними перемещаются концевые плоскости 6 железных цилиндров, расположенных совершенно подобным образом. Следовательно, при каждом полном обороте в каждом из железных цилиндров магнетизм возбуждался 6 раз и исчезал также 6 раз. Обыкновенный коммутатор в этом приборе должен поэтому при каждом полном обороте изменять 6 раз соединение индукционных катушек с электродами, проводящими ток дальше. Коммутатор, сконструированный

мною для моих настоящих целей, собственно говоря, никогда не изменяет направления тока на противоположное; он лишь позволяет возникать токам одинакового направления, играя для противоположных токов роль непроводника; поэтому, в сущности, это приспособление следует называть не коммутатором, а лишь прерывателем тока. Но чтоб не вводить новых названий, я буду и в дальнейшем пользоваться выражением „коммутатор“. Конструкция этого коммутатора поясняется следующим рисунком (фиг. 9).



Фиг. 9.

Цилиндрическая ось MN, стоящая вертикально в середине вращающейся части магнито-электрической машины, окружена прежде всего деревянной трубкой, которая плотно охватывает ось, но может на ней вращаться; эта трубка, обозначенная на нашем рисунке через EE', может быть зажата посредством винта F в любом положении на оси MN. На этой деревянной трубке неподвижно закреплены: внизу — железное кольцо BB', а вверху — медное кольцо CC'; на ней же может свободно вращаться железное кольцо AA', совершенно подобное первому, с плотно к нему прикрепленным медным кольцом DD'. Когда этому последнему подвижному железному кольцу придано желаемое положение, его можно неподвижно скрепить с медным кольцом CC' посредством гайки, изображенной на EE'. Оба железных кольца, как неподвижное BB', так и подвижное AA', разделены по окружности на 6 равных дуг (т. е. 60° каждая), и секторы 1, 3, 5 вырезаны; далее, однако, в вырезанные части вновь вделаны железные дуги, но так, чтоб вставленные куски были гальванически изолированы от оставшихся целыми секторов. На медном кольце CC' имеется 2 ряда делений, одни — на его нижнем крае, другие — вверху, на ско-

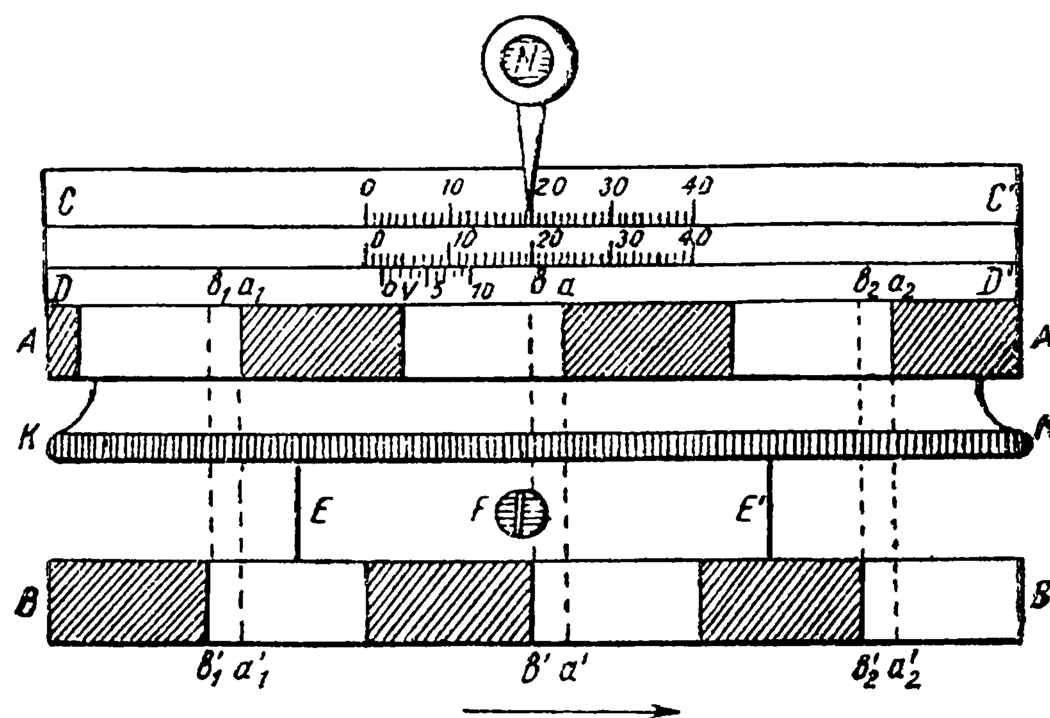
шенной его части; по первой шкале передвигается взад и вперед нониус, укрепленный на медном кольце DD'; он, следовательно, указывает положение железного кольца AA' по отношению к медному кольцу CC', а тем самым и по отношению к неподвижно с ним связанному железному кольцу BB', верхняя же шкала показывает положение всего коммутатора относительно оси MN, т. е. и относительно индуцируемых железных цилиндров, когда винт F зажат; это достигается при помощи указателя L, который держится значительным трением на оси и перемещается над самыми делениями верхнего ряда. Концы индукционных проводов G и H прикреплены к железным кольцам, один — к кольцу AA', другой — к кольцу BB', и вполне друг от друга изолированы.

Мы можем, следовательно, рассматривать 3 оставшихся целыми сектора кольца AA' как особой формы индукционный провод G, а 3 целых сектора BB' как индукционный провод H подобной же формы. От этих концов индукционной катушки ток проводится дальше для любых целей через 2 латунные пружины, KP и $K'P'$, заостренные края которых, K и K', при вращении коммутатора скользят по железным дугам.

Чтобы вполне уяснить себе действие этого прибора на практике, представим себе, что цилиндрическая поверхность коммутатора как бы снята и развернута в плоскость; тогда мы получим картину, изображенную на фиг. 10.

Части коммутатора, соответствующие предыдущему его изображению, обозначены здесь теми же самыми буквами. Таким образом, $ADD'A'$, может передвигаться вдоль нижних делений C, и нониус дает его положение; например на нашем рисунке нониус установлен на 2.5. Весь прибор может передвигаться относительно неподвижного указателя N, который на рисунке стоит на [делении] 20. Так как каждый сектор в 60° разделен на 20 частей, то каждая часть равна 3°, и нониус дает деления в 0°.3. Латунные пружины, скользящие по 2 железным кольцам, установлены так, чтобы их вертикальные края, лежащие на железных дугах, составляли одну прямую,

например aa'; поэтому, если закрепленные концы пружин соединены проводником, то через этот проводник будет проходить индукционный ток, когда эти пружины лежат на цельных секторах, но он не сможет пройти, если хотя бы одна пружина окажется на одном из секторов, укрепленных изолированно; эти сектора на рисунке отмечены штриховкой, полные же сектора оставлены белыми. Когда железное кольцо AA' имеет указанное на рисунке положение 2.5, ток будет про-



Фиг. 10.

ходить через проводник при движении пружин от a до b; во время их перемещения от bb' до a_1a_1' тока не будет, но он появится опять при перемещении от a_1a_1' до b_1b_1' и, наконец, еще раз — при перемещении от a_2a_2' до b_2b_2'. Таким образом, за полный оборот индукционный ток будет проходить через проводник, соединяющий пружины, только 3 раза, и, очевидно, в точности при одних и тех же фазах тока, ибо фазы, при каждом повороте на 2 сектора, повторяются совершенно одинаковым образом.

Далее, нетрудно видеть, что все эти 3 тока будут иметь одно и то же направление и, следовательно, при включении в цепь мультипликатора будут действовать на его стрелку как 3 толчка, одинаковых по силе и направлению; если вращение происходит быстро и если мультипликатор, как это

устроено у меня, снабжен движущейся в масле лопастью, замедляющей его колебания, то эти толчки, которые повторяются все время равномерно, вызовут постоянное отклонение его стрелки. Ширина проводящей полосы ab указывается нониусом на нижней шкале; этот отсчет (где каждая единица отвечает 3°) я в дальнейшем буду называть *установкой коммутатора.*

Если, установив коммутатор определенным образом, поворачивать его как целое вокруг его вертикальной оси ([угол] вращения измеряется при помощи указателя на верхней шкале), то фаза тока будет постепенно изменяться и указатель будет давать фазу, соответствующую определенному положению индуцируемых железных цилиндров по отношению к магнитным полюсам. Показания стрелки я буду называть *азимутом коммутатора.*

Мы видим, таким образом, что силу индуцированного тока, при его прохождении через проводящую полосу коммутатора, можно измерять в его различных фазах, подобно тому, как это происходило в моей предшествующей работе, но преимущество нового коммутатора состоит в том, что токи всегда имеют одинаковое направление и что ширину проходящей полосы можно изменять по произволу. Замечу еще только, что поскольку концы пружин, лежащие на железных кольцах, по необходимости имеют определенную ширину, продолжительность тока будет обусловлена суммой этой ширины и ширины (проводящей) полосы. Чтобы точно измерить эту ширину, нужно определить установку нониуса на шкале при том положении черты a верхнего круга относительно черты b нижнего круга, когда ток только начинает проходить через пружину; это положение нониуса приходилось определять опытным путем. С этой целью коммутатор отключался от индукционной катушки и соединялся с батареей Даниеля из 12 пар, и в то же время скользящие медные пружины соединялись с мультипликатором Нервандера; тогда, если обе пружины оказывались одновременно на проводящих полосах, должно

было получаться сильное отклонение стрелки, если же одна из них оказывалась на непроводящей части круга, отклонение должно было быть равно нулю. Итак, я поворачивал верхнее кольцо так, чтобы *a* лежало очень далеко от *b*, так что никакого тока не было; затем я постепенно поворачивал *a* вправо, пока вдруг не обнаруживалось отклонение мультипликатора.

Таким путем я нашел из нескольких согласных друг с другом опытов, что при установке нониуса на 0.6 тока еще не было, при установке же на 0.7 мультипликатор уже давал отклонение; отсюда следует, что если нониус передвинут на некоторое другое деление α (т. е., при установке коммутатора $=\alpha$), ток возникает при перемещении пружины на $\alpha - 0.7$ деления шкалы коммутатора, т. е. иными словами, что *ширину проводящей полосы надо принять равной* $\alpha - 0.7$. Чтобы определить, далее, также и азимут коммутатора и тем самым фазу тока для проводящей полосы, нужно было определить, какому именно положению железных цилиндров относительно магнитных полюсов отвечает определенное положение указателя; для этого я поступал так: я предоставлял цилиндрам самим установиться под действием притяжения магнитных полюсов, т. е. принять положение, отвечающее наибольшему притяжению; при этом они устанавливались в точности один против другого; в этом положении, которое я буду называть *нормальным положением железных цилиндров*, я закрепил цилиндры плоскими клиньями, которые загнал между концами железных цилиндров и полюсами магнитов. Затем я снова соединил концы *G* и *H* с батареей Даниеля, а пружины — с мультипликатором и повернул коммутатор вокруг его оси *MN*, причем установка коммутатора была 2.7; отклонение стрелки мультипликатора имело место лишь до тех пор, пока она была в азимуте между 18.2 и 20.2. Отсюда следует, во-первых, в согласии с предыдущим, что ширина проводящей полосы составляла $20.2 - 18.2 = 2$ деления; во-вторых, принимая во внимание направление вращения, — что при азимуте 20.2 цилиндры находятся в нормальном поло-

жении, т. е. устанавливаются прямо против магнитных полюсов. Ток проходит до тех пор, пока магнитные полюсы не займут положение на 2 деления, т. е. на 6°, [дальше] в направлении вращения магнито-электрической машины. Если теперь установка коммутатора изменяется с 2.7 на γ, причем азимут остается равным 20.2, ток будет возникать за $\gamma - 2.7$ делений до нормального положения магнитов и прекращаться, как и ранее, через 2 деления (т. е. 6°) после этого положения. Если же, напротив, азимут с 20.2 сдвинется на α, причем установка коммутатора останется равной 2.7, ток будет возникать, когда железные цилиндры передвинутся на $\alpha - 20.2$ деления от нормального положения, и прекращаться, когда они перейдут за нормальное положение на $(\alpha - 20.2) + 2 = \alpha - 18.2$ деления. Если, наконец, азимут увеличивается на α и одновременно установка — на γ, ток начинается при установке $(\alpha - 20.2) - (\gamma - 2.7) = \alpha - \gamma - 17.5$ после нормального положения и прекращается при установке $(\alpha - \gamma - 17.5) + (\gamma - 0.7) = \alpha - 18.2$, как и ранее для азимута 20.2.

Наблюдения были поставлены сначала точно таким же образом, как описано в моем втором сообщении, но вместо электро-динамометра в цепь был включен мультипликатор Нервандера, в котором токи остаются пропорциональными тангенсам углов отклонения, пока эти углы не превышают 5°. Цепь, таким образом, состояла из мультипликатора, индукционных катушек, машины Штерера и необходимых соединительных проводов; вращение регулировалось помощником по ударам метронома и отсюда, согласно предварительным опытам, выводилось число оборотов в минуту.

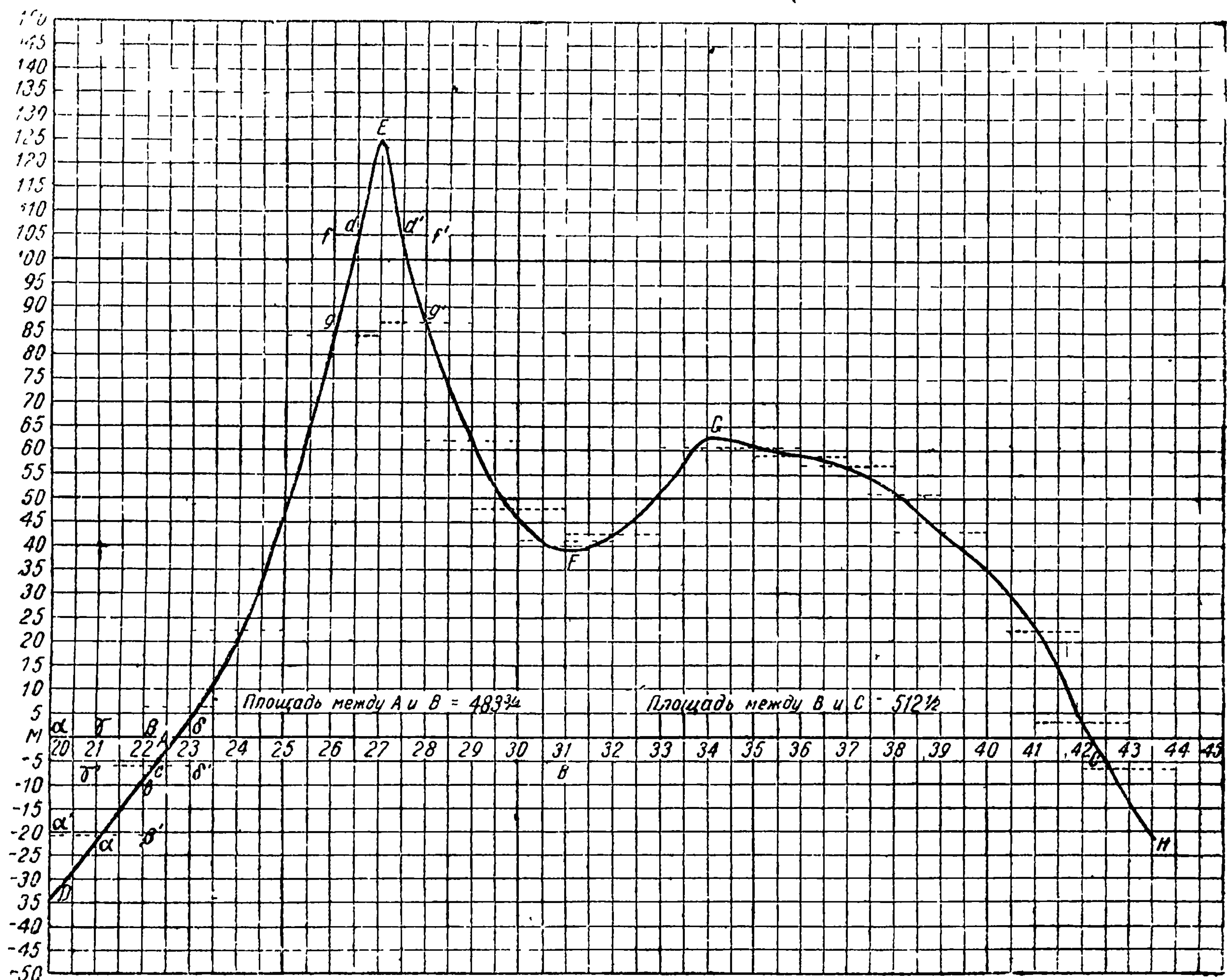
В первых сериях опытов применялось соединение 1 индукционных катушек друг с другом (все 6 рядом) [10], — метроном стоял на 15, что отвечает приблизительно 400 оборотам в минуту, установка коммутатора, или γ, $= 2.7$. Следующая таблица (стр. 223) содержит результаты 2 рядов наблюдений, произведенных в различные дни; из этих 2 рядов я в последнем столбце взял среднее.

Азимут коммутатора	Отклонение мультипликатора		
	1-я серия	2-я серия	Среднее двух, в минутах
20°	—0°21′	—0°21′	—21
21	—0 8	—0 4	— 6
22	+0 6	+0 8	+ 7
23	0 22	0 22	22
24	0 58	0 52	55
25	1 24	1 24	84
26	1 44	1 46	105
27	1 28	1 26	87
28	1 4	1 1	85
29	0 48	0 48	43
30	0 42	0 41	41 5
31	0 41	0 44	42.5
32	0 46	0 56	51.0
33	1 00	1 1	60 5
34	0 59	1 2	60.5
35	0 58	1 00	59
36	0 56	0 58	57
37	0 50	0 52	51
38	0 42	0 44	43
39	0 38	0 32	35
40	0 22	0 22	22
41	0 4	0 2	3
42	—0 6	—0 8	— 7

Из цифр четвертого столбца видно, что отклонения на мультипликаторе были слабые: самое большое из них не достигало даже 2°. Увеличения этих отклонений можно было бы достигнуть двояким образом,—или пользуясь более чувствительным и все же проверенным мультипликатором, которого у меня

в распоряжении не было, или путем увеличения ширины проводящей полосы на коммутаторе. Однако этот последний путь имел бы ту отрицательную сторону, что при графическом изображении изменений силы тока в ее различных фазах посредством кривой, эту последнюю пришлось бы строить из слишком большого отрезка, причем форма кривой, особенно в точках поворота, осталась бы совсем не оправданной. Я учел, с другой стороны, что при увеличении отклонения стрелки последняя, из-за толчкообразного характера отклонений, должна всегда обнаруживать известные колебания, что в данном случае полностью отпадает; кроме того, дело шло не об абсолютных определениях, а об установлении общей формы кривой; поэтому я удовлетворился результатами предыдущей таблицы, которые, как мы сейчас увидим, также вполне достаточны для определения формы кривой. Тем не менее токи, полученные здесь, все же гораздо сильнее, чем при опытах с электродинамометром, потому что единица отклонения на мультипликаторе Нервандера, как я показал во втором сообщении, в 352 раза больше, чем на электродинамометре. На фиг. 11 я изобразил графически значения четвертого столбца предыдущей таблицы, дающей результаты опытов; по оси абсцисс отложены азимуты, по оси ординат — соответствующие силы тока, которые я принял здесь пропорциональными числу минут, поскольку углы были менее 2°; деление разграфленной бумаги, взятое в горизонтальном направлении по оси абсцисс, отвечает половине отсчетов азимута; деление в направлении ординат отвечает 5 минутам. Имея все это в виду, я поступал при вычерчивании кривой следующим образом [11]: для азимута 20 ордината — 21 наносится вниз; так как ширина проводящей полосы на коммутаторе составляет 2 деления, то отклонением 21 мы, в сущности, измеряем площадь [прямоугольника] $\alpha\alpha'\beta\beta'$; поэтому кривая, изображающая изменения электродвижущей силы индукционного тока для азимута 20, должна иметь такое направление, чтобы ее квадратура между 20 и 22° была равна [площади] прямоугольника $\alpha\alpha'\beta\beta'$. Точно так же для азимута 21° квадра-

тура кривой между ординатами 21 и 23 должна быть равна площади прямоугольника $\gamma\gamma'\delta\delta'$, и т. д. Я старался, таким образом, провести кривую $DAEFGCH$ так, чтобы по возможности удовлетворить этим условиям, причем, однако, кривизна полученной кривой не должна утрачивать непрерывности; напри-



Фиг. 11.

мер, можно видеть, что площадь фигуры $Db\beta\alpha$, отрезывающей отрезок кривой, между ординатами αD и βb, с абсциссой $\alpha\beta$, больше площади прямоугольника $\alpha\alpha'\beta\beta'$ на площадь $\alpha\alpha' D$, но зато меньше нее на почти равную площадь $\alpha b\beta'$; точно так же площадь между ординатами $\gamma\gamma'$ и $\delta\delta'$ больше площади прямоугольника $\gamma\gamma'\delta\delta'$ на площадь $\alpha\gamma' c$, но зато $A'\delta\delta' c$ меньше на почти равную площадь $A\delta\delta' c$, и т. д. Сказанного достаточно, чтобы пояснить примененный мною прием; в какой мере мне удалось провести кривую так, чтобы

она удовлетворяла всем подобным условиям для всех азимутов, можно судить по самому чертежу. Наименьшая надежность получается при построении кривой близ точек поворота; так, например, сумма площадей $fdg + f'd'g'$ должна быть равна площади dEd', чего можно достигнуть различными способами, например увеличением высоты площадки dEd' за счет ее ширины, или наоборот; здесь уже приходится руководствоваться при выборе ходом смежных частей кривой. В общем, мы получили бы кривую совершенно подобной же формы, если бы просто провели ее через концы нанесенных ординат, в чем я успел многократно убедиться на практике. В дальнейшем я иногда буду пользоваться при построении подобных кривых этим более простым методом; правда, в этом случае форма кривых близ точек поворота становится еще менее достоверной, но форма всей кривой, что является для нас наиболее важным, изменится лишь незначительно. Это означает, иными словами, что участок кривой, соответствующий ширине полосы, можно рассматривать как прямолинейный.

Рассмотрим теперь кривую, выражающую изменение интенсивности электродвижущей силы, как она изображена на фиг. 11 на основании наших опытов; мы найдем тогда, в полном согласии с тем, что уже доказали для более слабых токов при помощи электродинамометра, что при движении каждого из железных цилиндров от одного полюса до соседнего электродвижущая сила имеет 2 максимума: больший из них отвечает азимуту 27, меньший — азимуту 34, и между ними при 31 лежит минимум. Согласно данным ранее формулам, при ширине проводящей полосы = 2, ток для азимута α возникает при α — — 20.2, прекращается при α — 18.2, следовательно середина будет при α — 19.2; имеем поэтому, для фазы

1-го максимума	27 — 19.2 = 7.8,	или 23°4
„ минимума	31 — 19.2 = 11.8,	или 35°4
2-го максимума	34 — 19.2 = 14.8,	или 44°4,

считая от нормального положения; точно так же находим 0 электродвижущей силы при азимуте 22.7, что соответствует

фазе 22.7 — 19.2 = 3.5, или 10°5 от нормального положения, т. е. ток изменяет направление на противоположное, когда цилиндр повертывается на 10°5 от нормального положения. Это согласуется с установленным мною ранее смещением нулевой точки тока вперед и необходимостью перестановки коммутатора. Форма кривой вполне аналогична той, которая была получена мною во второй статье при моих более ранних наблюдениях со слабыми токами и, как было там доказано, объясняется законом изменений магнетизма, возбуждаемого в железных цилиндрах; до сих пор, однако, остается пока не объясненным крутой подъем кривой при первом максимуме *E* в сравнении с гораздо более постепенным подъемом при втором максимуме в *G*. Так как первый максимум связан с исчезновением магнетизма в железных цилиндрах при их удалении от магнитных полюсов, второй же — с возникновением магнетизма при приближении к магнитным полюсам, то, как я уже упоминал в предыдущей статье, мы должны необходимо заключить отсюда, что исчезновение магнетизма происходит быстрее, чем его возникновение. Но изменение магнетизма в железных цилиндрах обусловлено, во-первых и главным образом, действием магнитных полюсов, а, во-вторых, также и обратным действием индукционного тока на железные цилиндры; совокупное действие обеих причин вызывает, однако (согласно сказанному во второй статье), лишь сдвиг обоих максимумов, но не увеличение первого по отношению ко второму; поэтому я полагаю, что значительное преобладание первого максимума может объясняться значительно бо́льшим временем, которое необходимо для возникновения магнетизма, в сравнении с временем, необходимым для его исчезновения. Но так как магнетизм убывает от того же максимума, до которого он ранее возрастал, то, несмотря на различное распределение, сумма всех индуцируемых токов, возникающих при исчезновении магнетизма, должна быть равна сумме всех индуцируемых токов при его возникновении. Но первая сумма выражается площадью *AEFBA*, вторая — площадью *BFGCB*; приближенное измерение первой площади дает

$483^3/_4$, второй — $512^1/_2$, что в самом деле очень близко одно к другому.

В дальнейшем мое внимание было направлено прежде всего на то, чтобы выяснить законы индукции в ее различных фазах, когда условия, при которых производятся опыты, по возможности изменяются. Для этой цели я старался определить: A. Как изменяется индукция при 4 различных способах соединения катушек в машине Штерера. B. Как она изменяется при изменении скорости вращения. C. Как она изменяется при изменении ширины проводящей полосы.

A. До сих пор, как я уже упоминал, опыты производились при соединении 1, т. е. все 6 катушек были соединены параллельно; я повторил эти опыты в 2 особых сериях, в каждой из них для всех 4 соединений, именно: для соединения 1, упомянутого ранее; для соединения 2, при котором 3 катушки соединялись параллельно, 2 — последовательно; для соединения 3, где 3 разветвления, каждое по 2 катушки, были соединены последовательно; и, наконец, для соединения 6, где все 6 катушек были соединены последовательно.

Первая из этих серий построена графически на фиг. 12, вторая — на фиг. 13; первая — подобно тому, как получена фиг. 11, вторая — просто посредством соединения концов ординат; при этом ординаты взяты в масштабе вдвое меньшем, чем на фиг. 12, так как иначе они бы вышли за пределы чертежа. Эти 2 чертежа обнаруживают большое согласие друг с другом; из них можно видеть, что изменения фаз для всех 4 соединений следуют в точности одному и тому же закону, поскольку как изменения направления тока на противоположное, так и оба максимума и лежащий между ними минимум наступают для всех 4 соединений почти в точности при одних и тех же фазах. Есть только одно различие между кривыми для соединения 1 и соединения 6, которое носит один и тот же характер на обоих чертежах, но выражено на фиг. 13 еще явственнее, чем на фиг. 12, так как в этом случае токи сильнее: я имею в виду смещение, в среднем, вправо точек кривых соединения 6 по сравнению с точками

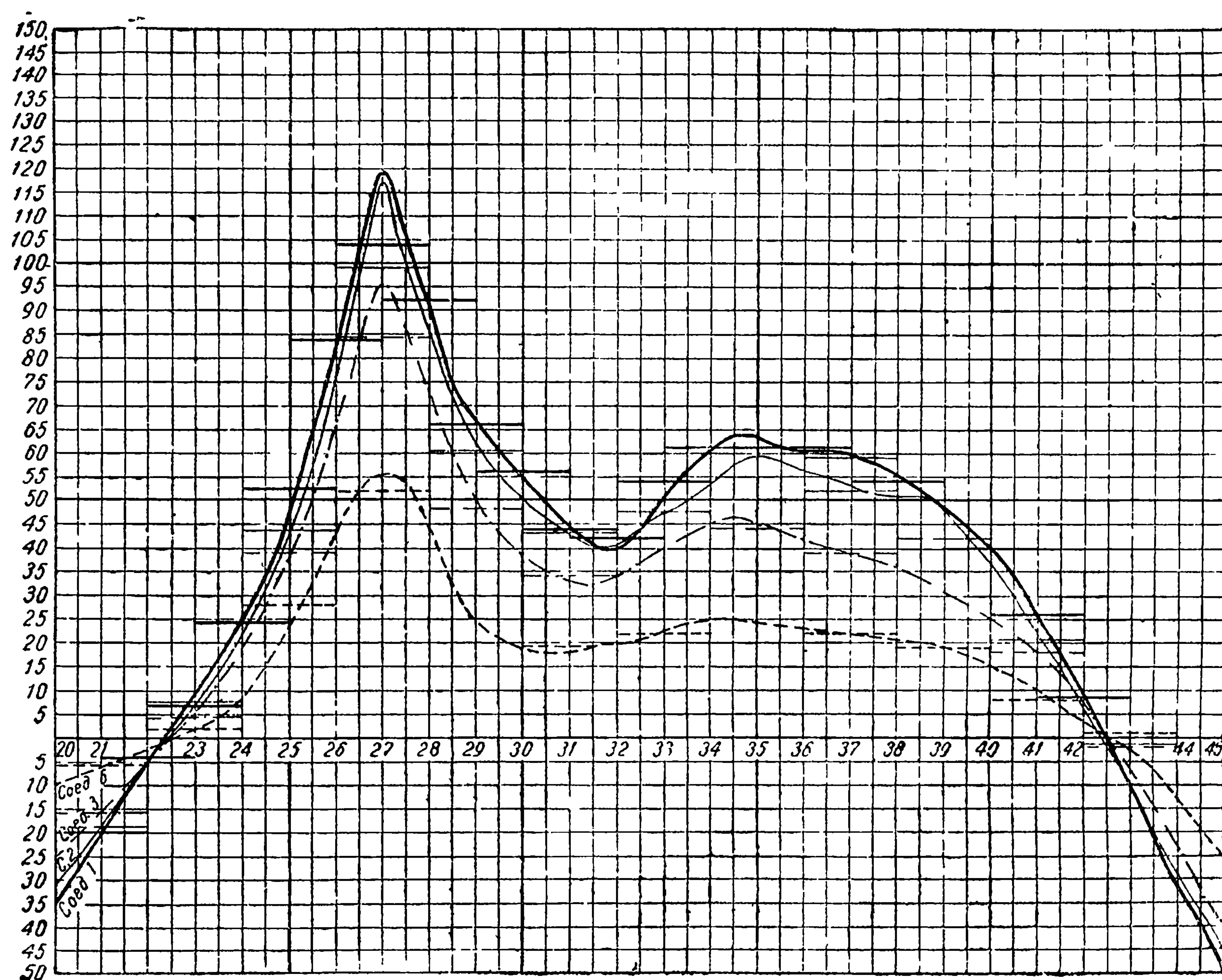
Первая серия опытов

Установка коммутатора, как прежде, 2.7; скорость вращения 410 оборотов в минуту

Азимут	Отклонения стрелки в минутах			
	соединение 1	соединение 2	соединение 3	соединение 6
20	— 20	—19	—16	— 6
21	— 4			
22	+ 7	+ 8	+ 4	+ 2
23	24			
24	52	48	39	28
25	84			
26	104	99	84	52
27	92			
28	66	60	48	26
29	56			
30	44	44	34	19
31	42			
32	54	48	40	22
33	61			
34	61	58	44	24
35	61			
36	59	52	39	22
37	54			
38	42	50	30	19
39	40			
40	26	20	18	8
41	+ 8			
42	— 2	— 1	— 1	1

кривой для соединения 1. Это обстоятельство вполне согласуется со сказанным мною в моей первой статье о смещении точки нуля и объясняется уже в указанной статье тем, что

ток в каждой отдельной катушке при соединении 6 значительно сильнее, чем при соединении 1; вследствие этого сильнее и его обратное действие на магнетизм, возбуждаемый магнитными полюсами, а от этого действия зависит и смещение точки нуля. В самом деле для фаз большего максимума мы получаем,



Фиг. 12.

согласно табл. стр. 229, для соединения 1 ток = 104, для соединения 2 — 99, для соединения 3 — 84 и для соединения 6 — 52; если же принять в расчет, что для первых соединений ток разделяется на 6 частей, для соединения 2 — на 3 части, для соединения 3 — на 2 части, для соединения 6 — совсем не разделяется, то в отдельных катушках токи будут: для соединения 1 — 17.3, для соединения 2 — 33, для соединения 3 — 42 и для соединения 6 — 52. Точно так же в отдельных катушках

Вторая серия опытов

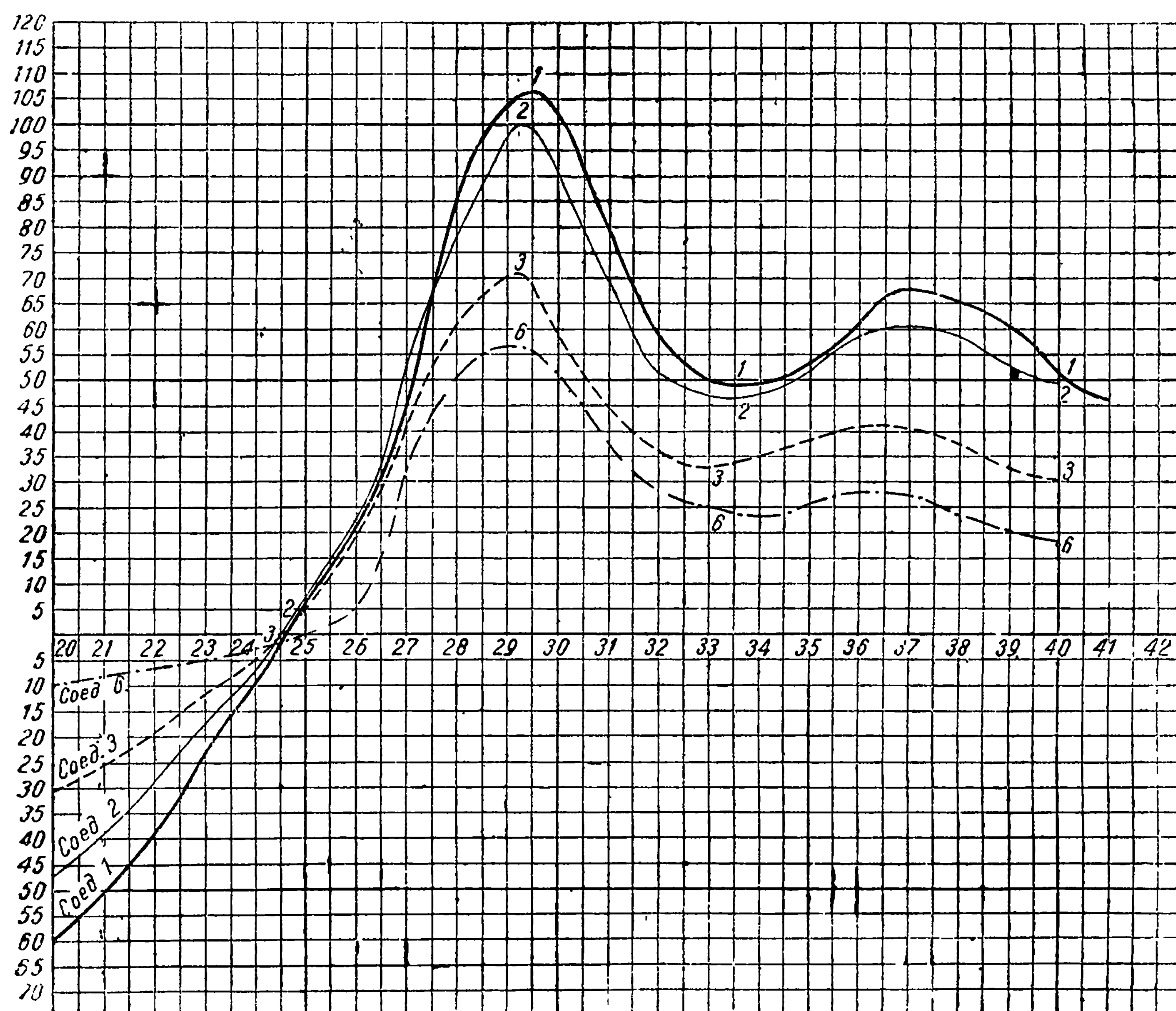
Установка коммутатора 3.7 (ширина полосы = 3), скорость 550 оборотов в минуту. Ширина полосы была здесь увеличена, чтобы получить более значительные отклонения

Азимут	Отклонение стрелки, в минутах			
	соединение 1	соединение 2	соединение 3	соединение 6
20	—120	— 93	— 60	— 19
21	—100	— 78	— 53	
22	— 78		— 38	
23	— 46	— 35	— 23	
24	— 22	— 15	— 6	— 6
25	+ 12	+ 13	+ 10	0
26	40	43	39	+ 10
27	94	102	82	66
28	170	155	122	100
29	207	195	140	113
30	205	180	119	104
31	163	140	98	75
32	120	102	73	56
33	100	95	65	52
34	98	94	70	46
35	105	105	75	52
36	123	117	80	55
37	136	119	80	55
38	130	116	75	48
39	125	105	65	43
40	112	99	60	36

для фиг. 13 получаются токи: для соединения 1 — 34.5, для соединения 2 — 65, для соединения 3 — 70 и для соединения 6 — 113. Между соединениями 1 и 6 эти различия настолько

значительны, что смещение нулевой точки выявляется с полной несомненностью; для соединений же 1, 2 и 3 наблюдения недостаточно точны, чтоб это смещение могло быть обнаружено.

В. Чтобы определить влияние скорости вращения на форму кривых, были поставлены опыты для 6 различных скоростей,



Фиг. 13.

но они были проведены только для половины целого периода, т. е. для азимутов от 20 до 31.

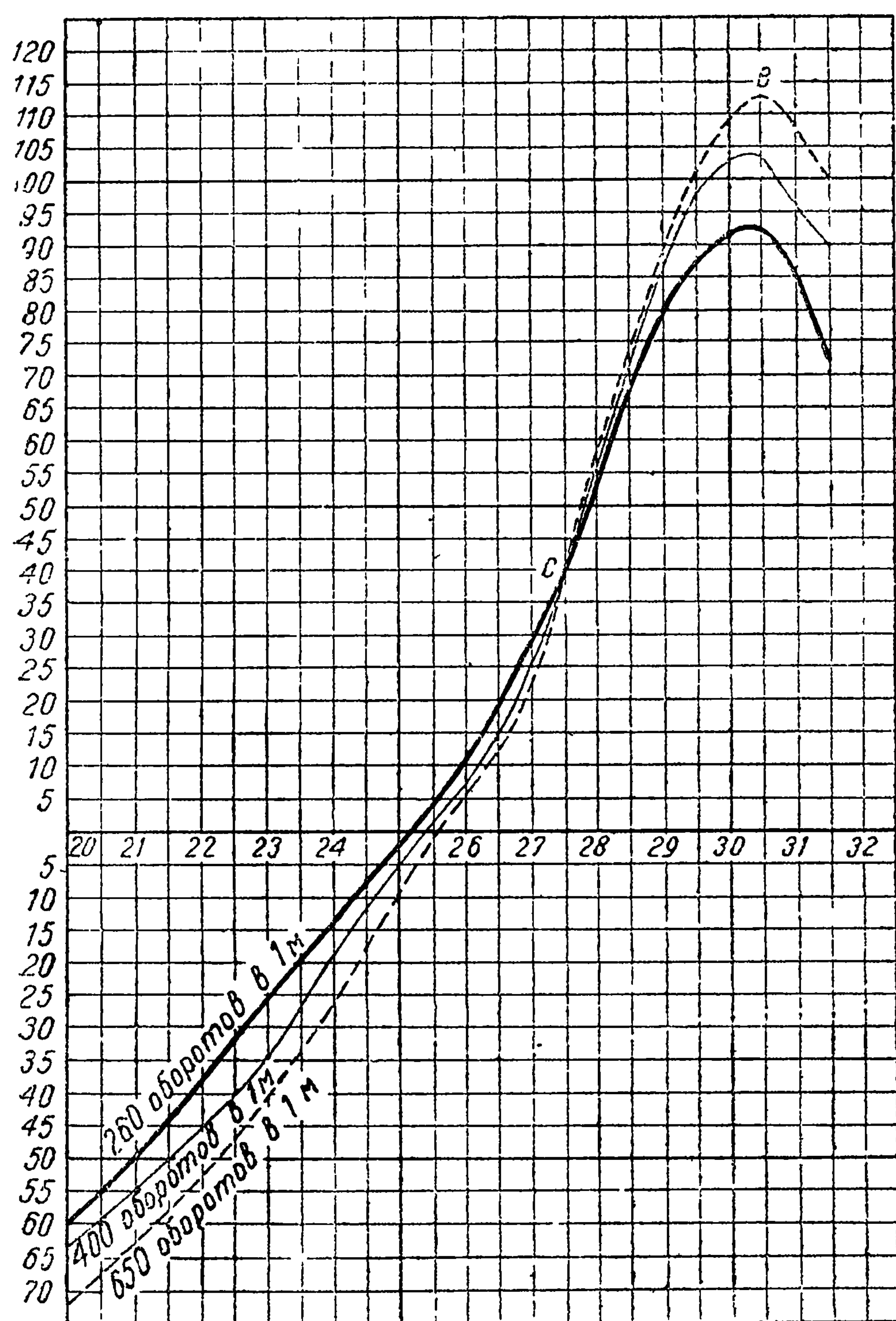
При этих наблюдениях, чтобы получить бо́льшие отклонения, ширина полосы была опять взята равной 3; кроме того, надо заметить, что в этой серии опытов азимуты не отвечают тем, что прежде, ибо при встретившейся необходимости починить

Соединение 1, ширина полосы = 3

Азимут	Отклонения мультипликатора при скоростях					
	260	350	400	470	550	650
20	— 87	— 95	— 98	—101	—110	—117
21	— 60	— 76	— 82	— 78	— 86	— 94
22	— 40	— 48		— 45	— 63	— 66
23	— 14	— 20	— 21	— 24	— 28	— 35
24	+ 8	+ 5	+ 1	0	— 1	— 2
25	38	34	28	30	+ 28	+ 25
26	78	86	80	80	78	78
27	138	138	143	146	141	146
28	174	185	195	200	208	203
29	184	198	206	218	219	225
30	+144	+155	+180	+184	183	201
31	— 80	— 92	—100	—104	—109	—116

машину Штерера стрелка, указывающая азимуты, оказалась в другом положении. На фиг. 14 (стр. 234) дано графическое изображение для 3 из этих рядов наблюдений, именно, для скоростей 260, 400 и 650; графическое построение остальных 3 рядов слишком запутало бы чертеж. Из построенных 3 кривых можно видеть, что чем больше скорость вращения, тем больше смещается вправо точка пересечения с осью абсцисс, или, что то же, тем позднее ток становиться равным 0, иными словами, тем больше нужно было бы передвинуть обыкновенный коммутатор в направлении вращения, чтобы ток всегда сохранял одно и то же направление. Далее, можно видеть, что для бóльших скоростей токи становятся сильнее, но далеко не пропорционально скоростям. Все это находится в полном согласии с тем, что было установлено ранее.

Замечательно, что при азимуте 27.5 сила тока для всех 3 рядов достигает почти одинаковой величины 80, так что здесь все 3 кривые пересекаются; это справедливо и для остальных 3 рядов, как можно видеть из нашей таблицы при азимуте 26; действительно, этот азимут (при ширине проводящей полосы = 3) соответствует азимуту середины полосы = 27.5, а для этой середины и построены наши кривые. Причину этого легко усмотреть в том, что нулевые точки кривых при большей скорости [вращения] смещаются вправо, тогда как бóльшие максимумы не изменяют фазы; отсюда следует, что подъем кривых становится тем круче, чем большей скорости они соответствуют. Это пересечение всех кривых почти в одной точке *C* говорит еще яснее, чем это допускает построение кривых, за то, что максимумы при *B* с увеличением скорости смещаются лишь немного. Мне кажется, что то обстоятельство, что точки поворота при различных скоростях не сдвигаются, в то время как нулевые точки кривых смещаются, указывает на то, что положения тех и других зависят от различных причин: положение точек поворота зависит от более быстрого изменения



Фиг. 14.

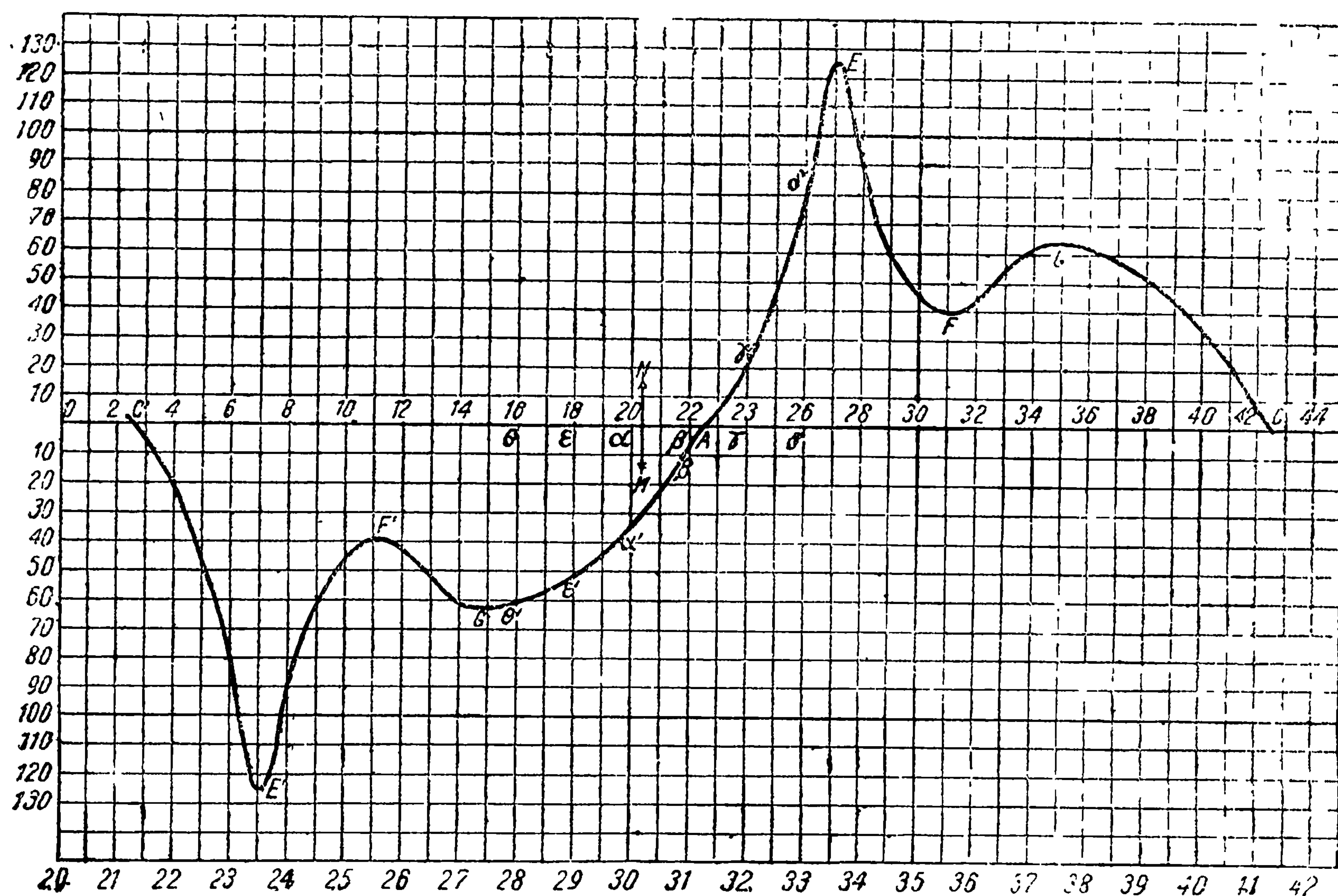
в намагничении железных цилиндров, положение же нулевых точек — от вторичных токов, как это было мною изложено в предыдущих моих статьях.

С. Наконец, в-третьих, я увеличивал ширину проводящей полосы, делая ее равной сначала 2, затем 4, затем 6 и, наконец, 8, причем и скорость вращения оставалась постоянной (400 оборотов в минуту), и соединение было одно и то же (1). При этих опытах, согласно выведенным ранее формулам, для азимута α и установки коммутатора γ ток возникает при $\alpha - \gamma - 17.5$ за нормальным положением цилиндра и прекращается при $\alpha - 18.2$; прекращение, стало быть, имеет место при одной и той же фазе индукции, какова бы ни была ширина полосы, ибо $\alpha - 18.2$ не зависит от γ, появление же наступает при различных фазах.

Наблюдение дало следующие силы тока:

Азимут	Силы тока для ширины проводящих полос			
	2	4	6	8
20	— 24	— 98	—202	—352
22	+ 8	— 21	—108	—242
24	45	66	+ 28	— 92
26	104	212	240	+182
28	60	256	384	408
30	42	148	388	538
32	52	120	259	582
34	60	144	234	382
36	57	156	258	348
38	43	128	248	361
40	21	92	199	328

Чтобы уяснить себе значение результатов, заключенных в этой таблице, достаточно бросить взгляд на фиг. 15, на которой $AEFGC$ изображает ту же кривую, что и фиг. 11 (стр. 225), лишь в половинном масштабе, тогда как $AG'F'E'C'$ дает ту же самую кривую для предшествующего периода изменений тока; в то время как первая отвечает, например, движению от север-



Фиг. 15.

ного до южного полюса магнитов, кривая $A'G'F'E'C'$ выражает изменения тока для движения цилиндра от южного до следующего северного полюса; она обращена вниз, так как токи здесь, по отношению к предыдущим, отрицательны. Линия MN представляет ту фазу индукционного тока, которая соответствует нормальному положению цилиндров. В первой серии опытов, для ширины проводящей полосы $=2$, первое число -24 выражает площадь $\alpha\alpha'\,\beta\beta'$, второе $+8$ — площадь $\beta\beta' A + A\gamma\gamma'$, третье — площадь $\gamma\gamma'\delta\delta'$, и т. д. Во второй серии опытов,

соответствующей ширине полосы $=4$, для одного и того же азимута токи прекращаются при той же фазе, как и прежде для ширины полосы $=2$, но возникают при фазе, лежащей на 2 левее; таким образом, первое число —98 соответствует площади $\varepsilon\varepsilon'\beta\beta'$, второе число —21 — площади $\alpha\alpha' A + A\gamma\gamma'$, и т. д. Но $\varepsilon\varepsilon'\beta\beta' = \varepsilon\varepsilon'\alpha\alpha' + \alpha\alpha'\beta\beta'$, следовательно, мы должны получить первое число второго столбца (я считаю только столбцы сил тока, не азимутов) —98, если сложим первое число —24 первого столбца с силой тока, которая отвечала бы в первом столбце азимуту 18; это, очевидно, то же число, которое стоит в первом столбце против азимута 38, но с обратным знаком, т. е. —44; поэтому $\varepsilon\varepsilon'\beta\beta'$ должно бы быть $(-24) + (-44)$ или —68, а вместо того мы нашли —98. Точно так же, второе число второго столбца —21 должно бы быть равно сумме токов для азимутов 22 и 20, т. е. $(+8) + (-24) = -16$, а мы имеем —21. В третьем столбце для силы тока, соответствующей ширине полосы $=6$, первое число —202 отвечает площади $\theta\theta'\beta\beta' = \theta\theta'\varepsilon\varepsilon' + \varepsilon\varepsilon'\alpha\alpha' + \alpha\alpha'\beta\beta'$, т. е. сумме первого числа первого столбца —24, числа первого столбца —44 при азимуте 38 и числа —58 при азимуте 36; поэтому $\theta\theta'\beta\beta' = -24 - 44 - 58 = -126$, а мы вместо этого получили —202.

Точно таким же образом можно показать и для сил тока при ширине проводящей полосы $=8$, что помещенные здесь числа, собственно говоря, должны представлять сумму 4 значений первого столбца, что, однако, совершенно не подтверждается в действительности.

Чтобы выявить, насколько числа, полученные путем суммирования, отклоняются от значений, наблюденных в действительности, я составил следующую таблицу, относящуюся к ширинам полосы 4, 6, 8; для каждой из этих величин первый столбец содержит действительно наблюденные силы тока, второй — те же данные, полученные путем суммирования значений, найденных для ширины $=2$, третий — разность Δ этих чисел.

Силы тока

Азимут	Ширина полосы = 4			Ширина полосы = 6			Ширина полосы = 8		
	набл.	сумм.	Δ	набл.	сумм.	Δ	набл.	сумм.	Δ
20	— 98	— 67	—31	—202	—124	— 78	—352	—184	—168
22	— 21	— 17	— 4	—108	— 60	— 48	—242	—117	—125
24	+ 66	+ 52	+14	+ 28	+ 28	0	— 92	— 15	— 77
26	+212	149	63	240	156	+ 84	+182	+132	+ 50
28	+256	164	92	384	209	175	+408	216	192
30	+148	102	46	388	206	182	538	251	287
32	+120	94	26	259	154	105	582	258	324
34	+144	112	32	234	154	80	382	214	168
36	+156	117	39	258	169	89	348	211	137
38	+128	100	28	248	160	88	361	212	149

Из этой таблицы видно, что ток, наблюдаемый для какого-либо кратного ширины проводящей полосы, оказывается всегда больше, чем полученный путем суммирования по составляющим это кратное полосам, и что разность этих двух величин тем больше, чем больше число частей, из которых состоит ширина проводящей полосы. Так, например, для самых сильных токов при ширине 4 эта разность составляет 92, для ширины 6 она равна уже 182, а для ширины 8 — даже 324. Из этого, прежде всего, следует, что сделанное нами во второй статье допущение — *„проводящая полоса как бы вырезает из квадратуры всей кривой определенную площадь“* — не верно и что, напротив, соответствующая этой части площади наблюденная сила тока всегда оказывается меньше той, которая должна была бы получиться по вырезанной части, но подходит к ней тем ближе чем шире проходящая полоса. Причину этого уменьшения, следует искать лишь в экстратоке, который образуется при возникновении тока и противоположен ему по направлению;

в соответствии с этим нужно исправить и одно ранее высказанное положение. Именно, экстраток, появляющийся в момент возникновения индукционного тока и противоположный ему по направлению, и экстраток, появляющийся при прекращении индукционного тока и имеющий одинаковое с ним направление, не могут взаимно компенсироваться, как там было принято; в самом деле, первый экстраток может получить полное развитие, ибо цепь после его возникновения остается еще замкнутой, второй же пропадает, ибо в момент, когда он должен бы образоваться, цепь размыкается. А так как каждый ток при ширине проводящей полосы $=2$ ослабляется своим экстратоком, то это ослабление будет тем резче проявляться в разности между током, полученным при большей ширине полосы, и током, полученным при суммировании отдельных полос, чем больше сама эта ширина.

Однако это обстоятельство не изменяет формы кривой, которая, при той же ширине полосы, выявляет изменения электродвижущей силы в различных фазах, ибо экстраток, оказывающий возмущающее действие, всегда пропорционален основному индукционному току, и поэтому наблюдаемые токи уменьшаются на часть площади, им пропорциональную; это равносильно тому, как если бы проводящая полоса коммутатора была взята у́же, чем есть на деле, что, очевидно, не изменило бы формы кривой.

О ЗАКОНАХ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ

Э. ЛЕНЦ И Б. ЯКОБИ



Доложено 26 октября 1838 г. [1, 2]

1

С тех пор, как благодаря работам Стэрджена [3] стало впервые известно, что мягкому железу может быть сообщено, посредством гальванических катушек, намагничение в степени, далеко превосходящей магнетизм обыкновенных стальных магнитов, и в Европе и в Америке были произведены многочисленные опыты с изготовлением электромагнитов исключительной силы; заслуженное удивление вызвали результаты Генри [4] и Тен-Эйка в Северной Америке, которым удалось построить магниты, удерживающие более 2000 фунтов. Однако, если вникнуть глубже, каковы те принципы, по которым определялись отдельные элементы, необходимые для осуществления таких сильных магнитов, например размеры железного сердечника, способ обмотки, толщина проволоки, сила вольтова столба и т. п., то нетрудно убедиться, что здесь в значительной мере господствовал произвол, и ученые довольствовались тем, что просто шли ощупью. Поэтому в науке явилась потребность установить, рядом точных опытов, действительные законы этих явлений; того же требовала и настоятельная необходимость практики, поскольку дело шло о пользовании магнетизмом, возбуждаемым в мягком железе, в качестве движущей силы, а при этом вопрос сводится к тому, чтобы получить при посредстве имеющегося в распоряжении материала наибольшее полезное действие. Как научный, так и практический интерес

вопроса побудил нас поставить ряд относящихся к нему опытов, результаты которых мы в виде извлечения имеем честь настоящим представить Академии.

Опыты этого рода, если они претендуют на точность, без сомнения должны быть причислены к труднейшим в физике, если учесть, как изменчиво действие гальванической цепи, как трудно точно измерить силу тока в желаемый момент, как затруднительно определить его намагничивающее действие, как различно, наконец, его действие на различные сорта железа, и т. п. Нам удалось преодолеть, в желательной для нас степени, большую часть этих трудностей; однако там, где определенно дает себя знать влияние качества железа, именно его неоднородности,—оказывается, что опыты не дают того согласия, какое удалось получить в остальных случаях. Это влияние, природа которого совершенно неизвестна, не может быть ни исключено, ни устранено каким-либо иным способом, тем не менее, результаты все же оказываются на первый раз удовлетворительными, по крайней мере, для потребностей практики.

2

Наши опыты, по самой их природе, требовали двух операций; из них *первая* состояла в точном определении силы тока, *вторая* — в точном измерении возбуждаемого им магнетизма. Оба наблюдения нужно было производить одновременно; поэтому один из нас все время занимался первым, другой — вторым измерением.

Для первой операции, именно для определения силы тока, служили электромагнитные весы, впервые предложенные для этой цели Беккерелем [5], но с видоизменением, без которого невозможно сколько-нибудь точное измерение. У Беккереля (Pogg. Ann., Bd. XLII, стр. 307) обе электромагнитные катушки находятся под магнитными стержнями, свисающими с концов коромысла весов, и токи пропускаются в таком на-

правлении, что один магнит отталкивается, а другой притягивается. Оба эти действия, таким образом, складываются, и наклон коромысла весов, который благодаря этому получается, должен быть уравновешен прибавлением гирь со стороны отталкивания. Однако легко видеть, что таким путем устойчивого равновесия получить нельзя, ибо колебаний коромысла весов нельзя избежать — они даже необходимы, и когда они направлены в сторону притяжения, сила отталкивания убывает, а сила притяжения возрастает; их сумма, в силу своеобразной природы магнитного действия, быстро возрастающего с уменьшением расстояния, становится больше, чем противовес, и коромысло весов должно наклониться в сторону притяжения. Наоборот, при колебании в сторону отталкивания, сила, правда, также возрастает, но в направлении, противоположном движению, и тем самым система вновь приводится в положение равновесия. В силу этого, результат измерения при установке Беккереля оказывается случайным и находит свое объяснение в том, что когда измеряемые силы очень малы, их возрастание, соответствующее очень небольшому размаху коромысла весов, остается в пределах имеющегося трения.

Поэтому, чтобы возможно было производить измерение, на оба конца коромысла должны действовать отталкивательные силы и должны отклонять его в одном направлении, а для этого один магнитный стержень должен находиться *над*, другой *под* электромагнитной катушкой. В последнем случае магнитный стержень подвешен на проволоке, проходящей через осевую полость катушки, к концу коромысла весов. Лишь при таком расположении колебания могут привести к *вполне устойчивому* равновесию, ибо силы всегда возрастают в направлениях, обратных амплитудам. Другое равновесие можно было бы назвать лишь отчасти устойчивым, ибо оно имеет место только для половины колебаний или для одного определенного направления.

Сила тока везде измеряется в миллиграммах [6].

3

Гальванический ток получался от 2 батарей Волластона [7] из платины и амальгамированного цинка, причем каждая состояла из 12 пар в 12 кв. дюймов с каждой стороны, так что общая их поверхность составляла 576 кв. дюймов. Платиновые пластинки были заключены между 2 цинковыми, причем стороны последних, обращенные наружу, были покрыты воском. Взять двойную поверхность для отрицательного металла нельзя было из-за его высокой стоимости. Все приспособление было устроено так, что элементы, по величине и числу, могли легко комбинироваться по множителям 24 и их можно было размещать в их отдельных сосудах так, чтобы получалась батарея либо большего размера, либо с бо́льшим числом пластинок. В качестве жидкости обычно употреблялась разведенная серная кислота, иногда с примесью азотной.

Пластинки были неподвижно закреплены на раме; наоборот, сосуды каждого из 12 элементов могли, при посредстве механизма с бесконечным винтом, перемещаться относительно пластинок в желательной постепенности, так что пластинки можно было погрузить настолько, насколько это было нужно. Это давало возможность получить в каждый момент ток определенной и, внутри известных пределов, любой силы. В самом деле, пусть гиря, которая должна измерять силу тока, уже лежит на чашке весов; тогда наблюдатель может легко взяться одной рукой за ручку и опустить или поднять сосуды, насколько это нужно. Благодаря этому достигается независимость от всяких изменений в цепи и можно в течение известного промежутка времени удерживать указатель весов близ нулевой точки с небольшими колебаниями, одинаковыми как в ту, так и в другую сторону. Если механизм поднятия и опускания устроен хорошо, то этот способ оказывается очень действенным, так как не приходится накладывать гири; это дает большую точность измерениям [8].

В расстоянии 20 футов от весов находилась электромагнитная катушка, окружавшая железный цилиндр. Ток, сила которого измерялась помощью весов, пробегал, таким образом, одну за другой обе мультипликаторные катушки весов, намагничивающую катушку и 2 толстых медных проволоки, соединявшие друг с другом эти 2 системы. Таким образом, была разрешена одна задача — определить силу тока, проходившего через намагничивающую катушку, или вернее, что еще более важно, получалась возможность сообщить намагничивающей катушке ток определенной силы.

4

Вторая задача состояла в том, чтобы измерить самый магнетизм, возбужденный (в железе); но каким из известных методов можно было воспользоваться для этой операции, если ни один из них не отличался необходимой точностью, быстротой и удобством? Ввиду того, что один из нас уже ранее с успехом применил магнито-электрическую индукцию для точных измерений [9], нам представлялось, что этот метод, хотя и в другой форме, может с удобством послужить и в данном случае; и, действительно, результаты превзошли все наши ожидания. Итак, на железный цилиндр было надето 2 одинаковые катушки, одна на другую; каждая из них могла служить намагничивающей или индуцируемой. Они были намотаны на гильзы из листовой латуни; одну можно было вдвинуть в другую. Одна из этих катушек, предназначенная для индукции, была соединена с находившимся в расстоянии около 15 футов мультипликатором, который заключал астатическую двойную стрелку. Таким образом, весы, катушки с железным сердечником и мультипликатор находились в треугольнике со сторонами 15, 20 и 28 футов; при этих расстояниях, как показали предшествующие опыты, непосредственного действия на стрелку не происходило. Теперь, в тот момент, когда наблюдатель у весов получает ток определенной силы, он подает условлен-

ный знак; второй наблюдатель размыкает a tempo цепь и наблюдает в зрительную трубу, в зеркале под углом 45°, мгновенное отклонение стрелки мультипликатора. Ибо, как известно, в окружающей железный сердечник второй катушке, вследствие исчезновения магнетизма, возникает индукционный ток, пробегающий в мультипликаторе. *Что этот индуцированный ток, возникающий вследствие исчезновения магнетизма в железном сердечнике, пропорционален самому магнетизму*, — это предположение, на котором основан весь наш метод. За подробным описанием приборов и способов измерения мы отсылаем частью к более подробной статье; отчасти же эти приборы и методы были те же, какие применял и описал один из нас во многих статьях, представленных Академии (Ленц, Mém. de l'Acad. sc. math. et phys., 1833, t. II etc. [10]). Мы напоминаем только, что каждый опыт состоял всегда из 4 наблюдений, чтобы исключить ошибку от эксцентричности стрелки и кручения нити. Чтобы с удобством производить необходимые для этой цели изменения направления, в котором отклоняется стрелка мультипликатора, — направление магнетизма, возбужденного в железе, изменяется на обратное посредством включенного в гальваническую цепь жиротропа новой конструкции. Более подробное описание этого жиротропа будет помещено в самой статье. Сила тока, мгновенно отклоняющего стрелку, как известно, пропорциональна синусу половины угла отклонения, так что, если обозначить отклонение, полученное как среднее из 4 наблюдений, через α (так мы будем обозначать его и в дальнейшем), ток F выразится следующим равенством:

$$F = p \sin \frac{1}{2} \alpha,$$

где p — множитель, постоянный для одного и того же мультипликатора. Непосредственный отсчет α делался наглаз с точностью до 0°,1, так как круг был разделен лишь на целые градусы. В средних из 4 измерений сохранены вторые десятичные знаки.

5

В наших опытах надо еще учитывать то особое обстоятельство, что вызывает индукцию во второй катушке не только исчезновение магнетизма железного сердечника, но и прекращение тока в электромагнитной катушке. Индукционный ток, обнаруживаемый стрелкой, есть поэтому сумма двух токов, из которых один отвечает магнетизму железного сердечника, второй — магнетизму электромагнитной катушки. В случае необходимости, эти два действия могут быть легко разделены, для чего нужно только повторить опыты без железного сердечника в катушке.

Далее, нужно упомянуть о следующем обстоятельстве: если индукционная цепь уже замкнута, а наблюдатель у весов еще изменяет у себя ток, стрелка мультипликатора подвергается разнообразным воздействиям и не остается в спокойном состоянии; поэтому не следует устанавливать соединения мультипликатора с индукционной катушкой, пока наблюдатель не сообщит условным знаком, что он получил определенную силу тока. Только тогда второй наблюдатель замыкает индукционную цепь и ждет второго сигнала для размыкания гальванической цепи. Поэтому необходимо сохранить постоянство гальванического тока только в течение короткого промежутка времени в несколько секунд между двумя сигналами. Что самые манипуляции размыкания и замыкания должны происходить с наибольшим возможным удобством,— разумеется само собою.

Чтобы, наконец, сократить время наблюдения и быстрее успокоить колебания двойной стрелки, у стола второго наблюдателя помещался модератор, или успокоитель. Он состоит из особой катушки, намотанной вокруг железного цилиндра, которую легко можно привести в соединение с мультипликатором или отключить от него. Путем приближения или удаления магнитного стержня в этой катушке возбуждается особый индукционный ток, который быстро успокаивает стрелку, если его направление противоположно направлению колебаний. При

известном искусстве наблюдателя, стрелка уже после немногих колебаний приходит в полный покой. Этот способ оказывается исключительно эффективным при легких астатических двойных стрелках [11].

6

Задача, которую должен поставить себе исследователь при этих наблюдениях, необходимо распадается на 2 основных раздела, содержание которых можно определить так:

1) *Дан железный сердечник определенных размеров и определенная поверхность цинка, а равно и соответствующая поверхность меди. Как нужно построить из них батарею, как найти толщину проволоки и количество оборотов, чтобы возбужденный магнетизм достигал максимума?*

2) *Какое влияние на силу возбуждаемого магнетизма имеют, при прочих равных условиях, размеры железных стержней?*

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

I. О влиянии силы тока на интенсивность возбуждаемого в железе магнетизма

7

По этому вопросу уже ранее Фехнером (Schw. Jahrb., Bd. XI, стр. 274 и 316) [12] был поставлен целый ряд опытов. Эти опыты показали полную вероятность того, что интенсивность магнетизма пропорциональна силе тока. Однако эти опыты, как указывает и сам автор, соединены со многими ошибками различного происхождения, связанными частью с методом, частью с природой жидкостных цепей. В еще большей мере это относится к опытам г-на Даль Негро, а также к опытам, ранее поставленным одним из нас (Якоби, Mémoire sur l'application de l'électromagnétisme etc.), об отношении поверхности возбуждающих ток пластинок к подъемной силе электромагнитов. Результаты этих опытов также довольно хорошо вычисляются по закону Ома, так что допущение пропорциональности не теряет после них своей вероятности. Однако вопрос настолько важен, что заслуживает более строгого обоснования и заставляет нас вернуться к нему вновь. Здесь возникает связь с вопросами, относящимися ко второму разделу, и задача становится шире, так как встает вопрос, будет ли отыскиваемый нами закон соблюдаться и при больших различиях в размерах железных стержней. Мы изготовили поэтому 6 точно отшлифованных железных цилиндров в 8 дюймов длины и диаметром в $^1/_2$, 1,

$1^1/_2$, 2, $2^1/_2$, 3 англ. дюйма; кроме того, 2 проволочных катушки одну поверх другой, причем каждая из них была намотана на гильзу из листовой латуни. Вдоль гильз имелся прорез, чтобы избежать появления в них индукционного тока. Нижняя катушка была надвинута непосредственно на цилиндр с диаметром в 3 дюйма; на цилиндры меньшего диаметра надевались деревянные гильзы, чтобы они всегда попадали в ось катушек. Внешняя катушка была соединена с батареей, внутренняя, т. е. индукционная, — с мультипликатором. Каждый из цилиндров подвергался последовательно воздействию восьми токов, сила которых измерялась противовесами в 400, 750, 1000, 1300, 1840, 2400, 2900 и 3300 миллиграмм. При этом методе получается полная независимость от изменчивости цепи, от нагревания соединительной проволоки сильными токами и от многих других обстоятельств, которые в иных условиях сильно осложняют опыты подобного рода. Таблица I (стр. 253) содержит 8 рядов опытов, причем отклонение α уже представляет собою среднее из 4 наблюдений. Непосредственное индуцирующее влияние внешней катушки на внутреннюю без железного цилиндра определялось для тех же самых токов.

К этой таблице нужно сделать следующие замечания: 1) наблюдения с цилиндром в 2 дюйма были сделаны позднее, когда в весы были внесены некоторые изменения. Поэтому сила тока имела здесь несколько иные значения, и этот ряд нельзя непосредственно сравнивать с другими, хотя для настоящего исследования это не существенно. 2) Пять наблюдений, отмеченных звездочкой (*), произведены после того, как в индукционную цепь была включена еще одна проволока, чтобы уменьшить отклонения, иначе стрелка перевернулась бы совсем. Но соотношение сопротивлений в цепи до и после включения проволоки было определено точно и, оказалось, что для сравнения сил тока, или $\sin\frac{1}{2}\alpha$, полученных при этих опытах, с остальными, их нужно умножить на постоянный коэффициент 4.9852.

Таблица I

Угол отклонения α

Сила тока, в миллиграммах	Без железного цилиндра	Цилиндр					
		1/2 дюйма	1 дюйм	1 1/2 дюйма	2 дюйма	2 1/2 дюйма	3 дюйма
400	Не наблюдался	5°67	8°00	10°07	7°95	14°62	17°72
750	3°55	10.80	15.17	19.30	15.17	27.97	33.62
1000	4.92	14.77	20.32	25.90	20.17	37.87	45.67*
1300	6.47	19.32	26.95	33.97	26.92	49.92	60.95
1800	9.27	28.52	39.15	49.40	39.12	74.65	92.22
2400	11.97	38.17	52.92	67.37	52.72	18.17*	145.85
2900	15.00	48.00	66.02	85.80	66.02	22.27*	27.00*
3300	17.42	56.57	77.65	102.10	78.50	25.85*	31.32*

8

Если принять, что возбуждаемый в железе магнетизм пропорционален силе тока, то для каждой серии опытов получаем в вертикальных столбцах восемь уравнений (для первого столбца — только семь):

$$x \sin \frac{1}{2} \alpha = K,$$

$$x \sin \frac{1}{2} \alpha' = K',$$

и т. д., где $\sin \frac{1}{2} \alpha$ есть сила индуцированного тока, пропорциональная возбужденному магнетизму, K — сила гальванического тока и x — коэффициент, постоянный для каждого отдельного цилиндра. Этот коэффициент может быть найден из восьми уравнений по способу наименьших квадратов помощью известных формул. В сущности, $\sin \frac{1}{2} \alpha$ представляет собою сумму

двух индукционных токов, а именно того, который зависит от магнетизма железного сердечника, и того, который связан с гальванической катушкой. Это, однако, не существенно, так как обе части — магнетизм железного сердечника и магнетизм гальванической катушки — пропорциональны силам тока. В более подробной статье имеется подсчет для вышеприведенных опытов по формуле $x \sin \frac{1}{2} \alpha = K$, однако из него видно, что эта формула лишь в весьма несовершенной степени соответствует опытам, так как средняя вероятная ошибка в среднем значительно больше, чем это допустимо в соответствии с точностью измерений. Последняя, как было указано выше, составляет до $0^\circ.1$, тогда как вероятная ошибка для сумм наблюдений, чтобы привести только один пример, с цилиндром диаметра $1^1/_2$ дюйма, составляет $0^\circ.7$. Далее, самые ошибки возрастают довольно правильно с увеличением силы тока, что указывает или на источник постоянных ошибок, или на то, что закон пропорциональности не верен.

В отношении постоянного источника ошибок подобного порядка ни метод индуцированных токов, ни примененная аппаратура не вызывают подозрений, ибо они оба оправдали себя при многочисленных предшествовавших исследованиях. Точно так же влияние времени, потребного для исчезновения магнетизма (это время могло бы быть функцией магнитной интенсивности), оказалось для наблюдаемых углов столь малым, что не выходило из пределов ошибок наблюдений. Наконец, в ряде опытов без железного сердечника, где более медленное исчезновение магнетизма совсем не может быть доказано экспериментально, мы все же не получаем результатов, которые бы лучше гармонировали с законом пропорциональности. Мы сочли поэтому вероятным, что источник ошибок нужно искать в показаниях весов. Именно, поскольку задерживающая сила магнитов, как бы они хорошо ни были закалены, не может считаться абсолютной, можно предполагать, что электромагнитные катушки весов могут оказывать постоянное или преходящее

воздействие на индукцию магнетизма в этих брусках, тем более, что бруски находятся в очень благоприятном для этого положении, именно, на продолжении осей катушек. Что данное воздействие — не постоянное, явствует из прекрасного согласия различных наблюдений, которые притом повторялись в конце серии опытов, а иногда даже производились в различные дни. Таким образом, это влияние должно быть временным, подобно тому воздействию, которое испытывает от гальванических токов мягкое железо. Если бы это было так, отталкивание магнитных брусков и электромагнитных катушек должно было бы ослабляться, так как последние сообщали бы железным частичкам стальных брусков магнетизм, противоположный свойственному им; в самом деле, брусок мягкого железа, поднесенный к катушке вместо стального бруска, ею притягивается. В силу этого, токи действительно были бы больше, чем показывают весы, и на самом деле отступления наблюдаемых углов имеют место именно в эту сторону, т. е. измеренные углы, которые соответствуют индукционным токам и, стало быть, магнетизму железных стержней, относительно больше, чем токи, измеряемые помощью весов. Хотя Беккерель принимает показание весов прямо за выражение силы тока, мы все же перед постановкой основных опытов подвергли этот вопрос проверке, результат которой оказался благоприятным для весов. Однако позднейшие опыты показали, что это соответствие — лишь кажущееся и вызывается особыми обстоятельствами, представляющими интерес для теории жидкостных цепей. Подробное рассмотрение этих обстоятельств мы оставляем до другого случая.

Предположение, что причину наблюдаемых аномалий нужно искать в весах, решительно подтвердилось позднее, когда серия опытов была повторена с железным цилиндром в 1 дюйм и когда магнитные бруски были удалены от электромагнитных катушек настолько далеко, насколько допускала конструкция весов. Здесь получилось хотя и неполное, но все же значительно лучшее согласие, чем прежде. Наконец, сомнения

были устранены полностью, когда ряд опытов был поставлен так, что ток не изменялся, а взамен его усиления увеличивалось число оборотов, намагничивающих железный сердечник. Таким образом, в этом случае работа производилась с постоянным током, влияние которого на магнитные бруски было во всех опытах одно и то же; и, действительно, при этом важном опыте, как будет показано далее, все аномалии исчезли.

9

Чтобы выяснить природу исправления, в котором, таким образом, нуждаются весы, были поставлены следующие опыты. Катушки весов состоят из 6 отделенных друг от друга проволок длиною в 200 футов каждая, сплетенных в шнур. Расположение взято такое, что эти проволоки могут быть соединяемы друг за другом или рядом. Если пропускать ток через одну или несколько проволок друг за другом, то можно получать постепенно все более и более сильное действие на магнитные бруски, вплоть до шестикратного. Значит, если бы имела место пропорциональность этого влияния, мы могли бы измерить его соответствующим количеством гирь. Чтобы иметь уверенность в постоянстве тока, были приняты самые тщательные и кропотливые меры предосторожности; к этому служили между прочим и одновременные наблюдения включенного в цепь прекрасного мультипликатора, который был изготовлен по нашему заказу согласно особой конструкции, предложенной проф. д-ром Нервандером. Этот прибор отличался черезвычайной чувствительностью: точность отсчетов составляла до 2 футов. В следующей таблице K — вес в миллиграммах, m — число катушек и x — постоянный коэффициент, определяемый из наблюдений (табл. II).

Вероятная ошибка составляет, правда, всего 5.3 миллиграмма, однако для данной точности наблюдений она слишком значительна. Далее, все разности таковы, что наблюдаемые веса оказываются меньше, чем следовало бы согласно числу

Таблица II

Число проволок	Наблюдаемый вес, в миллиграммах	Вычисление по формуле $K=mx$	Разность
6	1069	1079.4	—10.4
1	184	179.9	+ 4.1
2	367	359.8	+ 7.2
3	550	539.7	+10.3
4	725	719.6	+ 5.4
5	893	899.5	— 1.5
6	1069	1079.4	—10.4

действующих катушек. Лучшее согласие дают для этих опытов вычисления по формуле $K=mx-m^2y$, где по способу наименьших квадратов получается $x=187.1$ и $y=1.48$; мы получаем таким образом:

Наблюдаемые веса . .	184	367	550	725	898	1069
Вычисленные „ . .	185.6	367.3	547.8	724.7	898.5	1069.3
Разности	— 1.6	— 0.3	+ 2.2	+ 0.3	— 0.5	— 0.3

Вероятная ошибка
0.9

Если, поэтому, истинный ток обозначим через K', а измеренный весами — через K, то получаем уравнение поправки:

$$K'-K'^2z=K.$$

О физическом значении этой поправки (а что таковое имеется — не подлежит сомнению) мы скажем в подробной статье, так как для его обоснования нам еще нужно произвести особые опыты.

Из этого уравнения должно было бы следовать, что каждому показанию весов отвечают два действительных тока. Для

нашего прибора эти показания достигают максимума при 5913 миллиграммах, что отвечает действительному току 11 826; затем веса начинают убывать, тогда как сила тока возрастает, и, наконец, при действительном токе 23 652 миллиграмма магнетизм магнитных цилиндров нейтрализуется временным воздействием катушек; при еще более сильных токах магнетизм меняет знак, и таким образом отталкивание заменяется притяжением.

Нужно еще заметить, что постоянную z этой поправочной формулы нельзя непосредственно применять к опытам табл. I, так как прежние магнитные бруски были заменены другими и в весах были произведены и различные другие изменения. Для приближенных сравнений укажем, что для перехода к прежним значениям необходимо умножить теперешние показания весов на постоянный коэффициент 2.5; таким образом, ток, который теперь выражается числом 1069, отвечал бы, при прежней установке весов, току 2673.

10

Предыдущие рассуждения дают нам право вычислить теперь данные опытов табл. I по формуле

$$x \sin \frac{1}{2} \alpha - y \sin \frac{1}{2} \alpha^2 = K [^{13}],$$

полагая $\sin \frac{1}{2} \alpha$ пропорциональным действительным токам; здесь x и y для каждого цилиндра должны быть вычислены из 8 уравнений по способу наименьших квадратов. Если мы затем подставим эти значения в уравнения, то получим α из равенства

$$\sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{x \pm \sqrt{4ky + x^2}}{2\gamma},$$

где, в соответствии со сказанным в конце предыдущего параграфа, перед знаком корня надо поставить минус.

Следующая таблица (IIIa) дает сравнение значений вычисленного таким образом угла отклонения α с наблюдениями.

Таблица IIIa

Гири на весах	Без железного цилиндра			Цилиндр 1/2 дюйма			Цилиндр 1 дюйм			Цилиндр 1 1/2 дюйма		
	наблюденный α	вычисленный α	разность	наблюденный α	вычисленный α	разность	наблюденный α	вычисленный α	разность	наблюденный α	вычисленный α	разность
400	Не наблюдалось			5°67	5°70	—0°03	8°00	8°02	—0°02	10°07	10°12	—0°05
750	3°55	3°66	—0°11	10.80	10.90	—0.10	15.17	15.26	—0.09	19.30	19.20	+0.10
1000	4.92	4.92	0.00	14.77	14.72	+0.05	20.32	20.50	—0.18	25.90	25.88	+0.02
1300	6.47	6.43	+0.04	19.32	19.45	—0.13	26.95	26.93	+0.02	34.97	34.04	—0.07
1840	9.27	9.19	+0.08	28.52	28.37	+0.15	39.15	39.16	—0.01	49.40	49.60	—0.20
2400	11.97	12.28	—0.31	38.17	38.30	—0.13	52.92	52.73	+0.19	67.37	67.32	+0.05
2900	15.00	15.06	—0.06	48.00	48.03	—0.03	66.02	65.92	+0.10	85.80	85.62	—0.18
3300	17.42	17.36	+0.06	56.57	56.71	—0.14	77.65	77.66	—0.01	102.10	102.44	—0.34
	Вероятная ошибка 0.10			Вероятная ошибка 0.11			Вероятная ошибка 0.08			Вероятная ошибка 0.12		

Таблица IIIb

Гири на весах	Цилиндр 2 дюйма			Цилиндр 2½ дюйма			Цилиндр 3 дюйма		
	наблюденный α	вычисленный α	разность	наблюденный α	вычисленный α	разность	наблюденный α	вычисленный α	разность
400	7°95	8°00	—0°05	14°62	14°62	0°00	17°72	17°56	+0°16
750	15.17	15.17	0.00	27.97	27.82	+0.15	33.62	33.56	+0.06
1000	20.17	20.38	—0.21	37.87	37.64	+0.23	45.67	45.52	+0.15
1300	26.92	26.84	+0.08	49.92	49.92	+0.00	60.95	60.76	+0.19
1840	39:12	39.08	+0.04	74.65	74.50	+0.15	92.22	92.76	—0.54
2400	52.72	52.80	—0.08	18.17*	18.22	—0.05	145.85	145.92	—0.07
2900	66.02	66.32	—0.30	22.27*	22.36	—0.09	27.00*	27.10	—0.10
3300	78.50	78.42	+0.08	25.85*	25.78	+0.07	31.32*	31.24	+0.08
	Вероятная ошибка 0.11			Вероятная ошибка 0.09			Вероятная ошибка 0.17		

Так как предел ошибки наблюдения, возможной вследствие определения наглаз, составляет 0°1, то, как мы видим, вероятные ошибки не превосходят этого предела; лишь для самого толстого цилиндра в 3 дюйма вероятная ошибка равна 0.17, но мы увидим далее, что при увеличении размеров железа наблюдения вообще становятся ненадежными, так что здесь частью приходится отказаться от того прекрасного согласия между отдельными наблюдениями, которое имеет место при других опытах. Однако беспорядочное распределение знаков разностей показывает лучше всего, что ошибки носят только случайный характер и что из этих опытов решительно следует закон:

Магнетизм, возбуждаемый в мягком железе гальваническими токами, в точности пропорционален этим токам [15].

II. О влиянии толщины проволоки намагничивающей катушки на возбуждаемый магнетизм

11

В статье о магнито-электрических катушках (Ленц, Mém. de l'Acad. des sciences, t. II, 1833 [14]) один из нас доказал для магнито-электрической индукции следующий закон: электромагнитная сила, возбуждаемая магнитом в надетой на него катушке, остается при любой толщине проволоки одинаковой, т. е. она независима от толщины. Было поэтому вероятно, что подобный же закон имеет место и, наоборот, для намагничивающей силы электромагнитных катушек. Тем не менее было все же необходимо поставить в этом направлении некоторые опыты.

Вокруг железного цилиндра длиною $3^1/_2$ дюйма и толщиною 1 дюйм была намотана катушка *A* из хорошо обмотанной проволоки, диаметр которой равнялся 0.06 англ. дюйма; между ее витками была намотана вторая проволока *B* с диаметром всего 0.0075 англ. дюйма. Когда два близлежащих конца этих катушек были соединены друг с другом, а два других — с сильной батареей, то в этих 2 катушках ток проходил в противоположном направлении и сообщал поэтому железу противоположный магнетизм. Эти два действия должны были бы быть в точности равны, ибо железо не приобретало при этом ни малейшего следа магнетизма, тогда как он оказывался очень сильным, если ток проходил только по одной катушке. Таким образом, вышеупомянутый закон был бы доказан и для электромагнитного возбуждения, если бы подобные опыты с компенсирующими друг друга катушками не заключали в себе всегда чего-нибудь не совсем удовлетворительного. Поэтому были проведены еще следующие, более прямые опыты.

Железный цилиндр в 8 дюймов длины и $1^1/_2$ дюйма толщины был по всей длине обмотан катушкой, которая, как индуцируемая катушка, соединилась с описанным выше мультипли-

катором. На нее была намотана вторая катушка, проволока которой, как и прежде, имела диаметр 0.06 англ. дюйма, а в промежутках витков — тонкая проволока в 0.0075 англ. дюйма диаметром. Число оборотов обеих катушек было в точности одинаково. Через каждую из них пропускался поочередно ток одинаковой силы, которая измерялась на весах грузом в 200 миллиграмм. Когда ток прекращается, то вследствие исчезновения магнетизма возникает, как и прежде, индукционный ток, наблюдаемый на мультипликаторе. Следующая табл. IV заключает 4 наблюдения одной серии, которые приведены здесь в отдельности, чтобы показать их согласие.

Таблица IV

	α				
	1	2	3	4	среднее
Катушка из толстой проволоки	11°3	11°8	11°7	11°6	11°65
„ „ тонкой „	11.4	11.8	11.8	11.6	11.60

Из этой таблицы можно видеть, что как отклонения отдельных наблюдений, так и отклонения средних лежат целиком в пределах ошибок наблюдений.

Было, однако, интересно и важно исследовать, имеет ли место этот закон также и для других видов обмотки, например для медной ленты. Над серединой железного цилиндра в 8 футов длины и $1^1/_2$ дюйма толщины, который весь был окружен индукционной катушкой, была намотана в 21 оборот медная лента, оклеенная с обеих сторон тесьмой, имевшая 19 дюймов длины и 1 дюйм ширины и $^1/_{40}$ дюйма толщины; вместе с нею, т. е. между витками, — тонкая медная проволока в 0.0075 дюйма диаметром. Таким образом, поперечные сечения проволоки и полосы относились друг к другу, как 4:2500. Методика — прежняя, и только сила тока, измеренная на весах, была взята

теперь в 600 миллиграмм, ибо иначе при малом числе оборотов намагничение железа получилось бы слишком слабым.

Таблица V

	α				
	1	2	3	4	среднее
Катушка из тонкой проволоки	13°1	13°3	13°5	13°1	13°25
„ „ листовой меди	13.1	13.2	13.5	13.1	13.225

Таким образом, из этих опытов следует, что большая или меньшая толщина проволок электромагнитной катушки, при одной и той же силе тока и одном и том же числе оборотов, не имеет решительно никакого значения для ее намагничивающей способности. При этом, конечно, не следует забывать, что более толстые проволоки оказывают току более слабое сопротивление, так что для получения той же силы тока в этом случае достаточно более слабых источников тока.

III. О влиянии ширины оборотов электромагнитной катушки на магнетизм железного сердечника

12

В указанной выше статье (о законах магнито-электрических катушек) для магнито-электрического возбуждения устанавливается подтверждаемый разнообразными опытами закон, что электродвижущая сила, возбуждаемая магнетизмом в расположенной вокруг него катушке, при любом диаметре оборотов одинакова. И этот закон был проверен, наоборот, и для электромагнитных токов. Для этого были взяты 7 мотков листовой меди, подобным описанным выше, с намотанными на них проволочными катушками; каждая из последних имела

79 оборотов; катушки могли быть вдвинуты одна в другую, а во внутренней, служившей индукционной катушкой и соединенной с мультипликатором, находился железный сердечник длиною 8 дюймов и толщиною $1^1/_2$ дюйма. Остальные 6 катушек могли, как было описано ранее, каждая в отдельности соединяться с катушками весов и батарей. Диаметры этих катушек были следующие:

Катушка	I	II	III	IV	V	VI	
Диаметр	2	2.3	2.6	2.9	3.3	3.7	дюйма

Метод измерения магнетизма был тот же, которым мы пользовались раньше. Постоянный ток, который пропускался поочередно через эти 6 катушек, равнялся, по измерению на весах, 500 миллиграммам. Опыты без железного сердечника поставлены не были, так как дело шло не об абсолютной величине возбуждаемого магнетизма, а исключительно о влиянии ширины витков, которая как для внутренней индукционной катушки, так и для железного сердечника была одна и та же.

Таблица VI

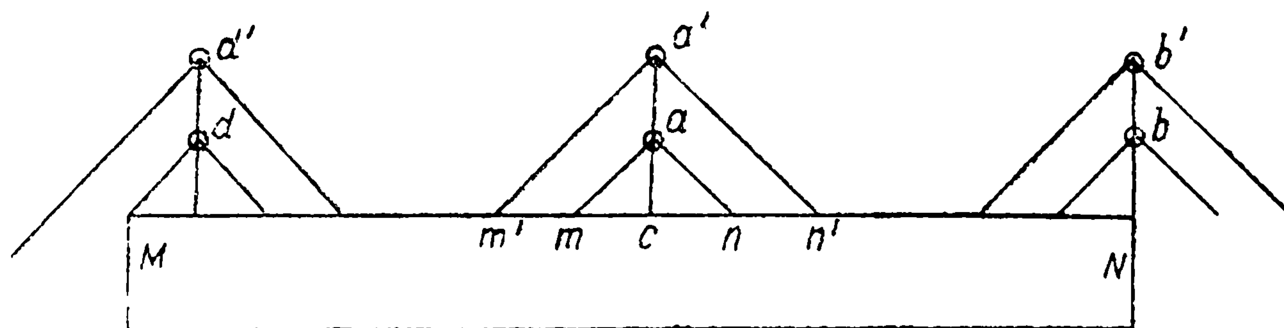
Катушки	α	Магнетизм равен $\sin\frac{1}{2}\alpha$
I	15°32	0.133
II	15.02	0.131
III	14.82	0.129
IV	14.35	0.125
V	13.92	0.121
VI	14.00	0.122

Табл. VI дает наблюдавшиеся отклонения, из которых каждое является средним из 4 наблюдений одной серии.

13

Эта таблица показывает, что возбуждаемые в железе интенсивности магнетизма немного убывают с удалением катушек от железа. Это убывание, однако, незначительно, так как при

изменении диаметра катушек от 2 до 3.7 дюйма интенсивность магнетизма уменьшается лишь на $\frac{11}{133}$, или $\frac{1}{12}$. Все же это уменьшение нельзя приписать случайным обстоятельствам; его следует объяснить тем, что в концевых оборотах катушек, лежащих дальше, часть намагничивающего действия теряется. Действительно, некоторые специально поставленные опыты показали, что индукционная катушка, расположенная на продолжении электромагнитной катушки или электромагнитного железного сердечника, испытывает от них хотя и слабое, но ясно выраженное магнитное действие. Далее, известно, что электромагнитная катушка оказывает магнитное действие, хотя



Фиг. 1.

тоже только весьма слабое, на расположенный по ее продолжению железный сердечник. Можно поэтому считать установленным, что элементы тока действуют не только на частички железа, лежащие в плоскости оборотов, но и на лежащие рядом. Однако это индукционное влияние простирается недалеко и совсем исчезает при некоторой величине угла. Пусть (фиг. 1) a и a' — 2 оборота проволоки в поперечном сечении, а $man = m'a'n'$ — угол, внутри которого еще сказывается действие тока; тогда, согласно закону Био, гласящему, что действие токов обратно пропорционально расстоянию, влияние a' на $m'n'$ будет пропорционально индукционному влиянию a на mn, или $\frac{M}{ac}mn = \frac{M}{a'c}m'n'$, где M выражает намагничивающую силу. Более широкие обороты будут оказывать на железный стержень более слабое действие, но зато оно будет распространяться на большее, в том же отношении,

количество его частиц. Что же касается концевых оборотов, то здесь, как можно видеть из чертежа, у оборотов большей ширины часть действия теряется. Если железный стержень обмотан по всей его длине, то для последних оборотов *b*, *b'* как более узкой, так и более широкой катушки, боковое действие уменьшается наполовину; для оборотов же *d*, *d'*, отстоящих от конца дальше, в невыгодном положении оказывается лишь более широкий виток. Различие, таким образом, будет тем незаметнее, чем длиннее весь железный сердечник по отношению к его обмотанной части. Но если мы хотим подтвердить это опытом, возникает то затруднение, что эти слабые различия затушевываются неправильностями, которые как уже сказано было выше, возникают при возрастании массы железного сердечника, именно уже тогда, когда его длина выходит за пределы 1 фута.

14

Следующий метод дает возможность до известной степени освободиться от влияния этих неправильностей. Упомянутые 5 катушек надвигаются на железный брусок длиною 3 фута, шириною $1^1/_2$ дюйма, который по всей длине обмотан индукционной катушкой. Катушки были соединены друг с другом так, чтобы гальванический ток пробегал по ним в противоположном направлении, так что если действие катушек было по величине одинаково, никакого магнетизма возникнуть не могло. Размыканием цепи производился, как и прежде, индукционный ток, измерявшийся мультипликатором; таким образом мы получили:

Катушка	II	— катушка	VI	0°3
„	II	— „	V	0.4
„	III	— „	VI	0.2
„	II + III	— „	V + VI	= 0.75

Когда был взят ток, который измерялся на весах грузом 200 миллиграмм (эквив. 500 прежних), индукционный ток при

соединении 2 катушек, V + VI, друг с другом был настолько силен, что стрелка начинала кружиться, т. е. отклонение превышало 180°. Отношение двух противоположных магнетизмов создаваемых 2 этими катушками, было поэтому не менее чем 1 : 1.006. Отсюда можно заключить, что для более длинных брусков разности становятся еще меньше; для более коротких они, наоборот, значительнее. Последнее, действительно, и обнаружилось, когда вместо стержня длиною в 3 фута в катушки был вновь вдвинут стержень длиною в 8 дюймов, который служил нам при предыдущих опытах. А именно, комбинация (II + III) — (V + VI) дала отклонение в 2°8, хотя катушки V + VI, взятые отдельно, вызвали индукционный ток, давший отклонение только 28°5; здесь, таким образом, отношение двух сил равно 1 : 1.04.

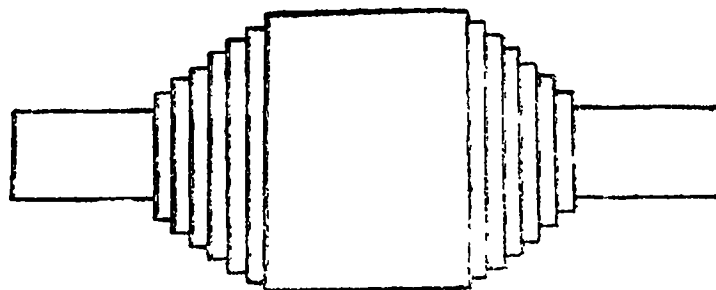
15

Выявить из предыдущих опытов закон убывания действия при больших удалениях катушек не так просто, ибо в толщине проволок, из которых были сделаны катушки, имелись случайно некоторые небольшие различия, а потому при одном и том же числе оборотов обмотка занимала на железном стержне неодинаковую длину. Этим объясняется и аномалия в действии катушки VI: последнее оказалось несколько выгоднее, чем действие катушки V; дело в том, что первая состояла из несколько более тонкой проволоки, так что более выгодное действие последних оборотов, которые отстояли от концов железного сердечника дальше, компенсировало ослабление, связанное с бóльшим удалением.

Из предыдущих соображений следует, что небольшими различиями, зависящими от более далекого расстояния от железного сердечника, в практике можно, в сущности, пренебречь и что отклонения от закона —

при одинаковых токах ширина обмотки не имеет влияния на намагничение [15] — будут тем меньше, чем длиннее

железный сердечник по отношению к длине катушки и чем более отодвинуты крайние обороты от его концов. Для этого обмотка должна быть сделана так, как показывает фиг. 2, что, впрочем, обыкновенно и имеет место.



Фиг. 2.

IV. О влиянии числа оборотов на намагничение железа

16

Согласно законам магнито-электрических катушек, можно было ожидать, что для электромагнитного возбуждения будет иметь место закон: *сообщаемый [железу] магнетизм, при одинаковых токах и при прочих равных условиях, пропорционален числу оборотов*. Для проверки этого закона мы пользовались описанным ранее аппаратом с 7 навитыми друг над другом катушками, из которых самая нижняя, непосредственно окружавшая цилиндр в $1^1/_2$ дюйма, была, в качестве индукционной, соединена с мультипликатором. Через остальные, как и в опытах табл. VI, пропускался ток, измерявшийся на весах [грузом в] 500 миллиграмм, притом так, что он пробегал сначала по одной, потом по двум и т. д. и, наконец, по всем 6 катушкам. В следующей табл. VII приведены суммы этих отдельных действий.

Теперь нужно сравнить опыты настоящей таблицы с опытами табл. VI, складывая действия отдельных катушек согласно схеме табл. VII. При этом нужно, однако, заметить, что не только между двумя рядами опытов был перерыв в несколько дней, но за это время и коконовая нить, на которой была подвешена стрелка мультипликатора, была заменена

Таблица VII

Намагничивающие катушки	Отклонения
I	$15^\circ.92 = \alpha$
I+II	$31.52 = \alpha^{I}$
I+II+III	$47.57 = \alpha^{II}$
I+II+IV+V	$63.47 = \alpha^{III}$
I+II+III+IV+V	$82.40 = \alpha^{IV}$
I+II+III+IV+V+VI	$103\ 20 = \alpha^{V}$

новой. Отсюда — различие в наблюдениях для катушки I в этих таблицах. Постоянный множитель x, на который надо помножить данные наблюдений, нужно вывести по способу наименьших квадратов из следующих шести уравнений:

$$0.13333x = \sin\frac{1}{2}\alpha,$$

$$0.26406x = \sin\frac{1}{2}\alpha^{I},$$

$$0.38895x = \sin\frac{1}{2}\alpha^{II},$$

$$0.51016x = \sin\frac{1}{2}\alpha^{III},$$

$$0.63916x = \sin\frac{1}{2}\alpha^{IV},$$

$$0.76102x = \sin\frac{1}{2}\alpha^{V},$$

Вставляя найденное таким образом значение x в каждое из написанных выше уравнений, получаем вычисленные значения углов α, α^{I} и т. д., которые и собраны в табл. VII (стр. 270).

Здесь вероятная ошибка получается равной 0.11, т. е. не превышает возможной ошибки наблюдений. Эти опыты, надо

Таблица VIII

Угол	Наблюденный	Вычисленный	Разность
α	15°92	15°80	+0°12
α^{I}	31.52	31.60	—0.08
α^{II}	47.57	47.28	+0.29
α^{III}	63.47	63.47	0.00
α^{IV}	82.40	82.45	—0.05
α^{V}	103.20	103.37	—0.17

заметить, являются в особенности решающими для высказанного в § 9 взгляда относительно поправок к приведенным в нем наблюдениям и в то же время, независимо от всяких неправильностей весов, подтверждают найденный в этом параграфе закон, что интенсивность магнетизма, возбуждаемого в мягком железе, пропорциональна силе токов.

Что же касается закона, что возбуждаемый магнетизм при одной и той же силе тока пропорционален числу оборотов, то при обычных методах наматывания здесь будут иметь место незначительные отклонения, вследствие чего, согласно §§ 13 и 14, придется считаться с шириной и положением оборотов. Поэтому упомянутый закон в строгой и общей форме нужно выразить так:

Общее действие всех окружающих железный сердечник витков равно сумме действий каждого отдельного витка [16].

V. Установление общего закона для электромагнитных катушек

17

В 4 предыдущих главах мы доказали посредством опытов:

1) что магнетизм, возбуждаемый гальваническими катушками в железе, пропорционален силе токов;

2) что этот магнетизм при одинаковых токах не зависит от толщины и формы проволок или лент, из которых состоит катушка;
3) что при одинаковых токах ширина витков не играет роли, с тем ограничением, что для витков, лежащих ближе к концам, сила несколько убывает при большей ширине витков;
4) что общее действие всех охватывающих железный сердечник витков равно сумме действий отдельных витков.

Мы усматриваем здесь, таким образом, полную аналогию с законами магнито-электрических катушек, установленными в упомянутой ранее статье, а поэтому сочли возможным не заниматься исследованием влияния на намагничение различного материала проволок, поскольку вполне доказана независимость магнито-электрических токов от этого обстоятельства. Но в сущности, мы уже имеем доказательство этого во многих приведенных опытах, где при одинаковых токах намагничивающее действие катушек было совершенно одинаково, несмотря на большие различия в проводимости проволок. Проводимость же до сих пор является единственным свойством, в котором проявляется различие тех или иных материалов по отношению к гальваническим токам, независимо от того, каково это различие: химическое, механическое или же количественное.

18

Мы можем теперь обратиться к полному решению нашей первоначальной задачи, а именно:

найти наиболее выгодные условия конструкции электромагнита и соответствующего устройства гальванического прибора, если даны, с одной стороны, определенный железный сердечник, с другой — определенная поверхность цинковых пластинок и соответствующая поверхность медных пластинок.

Основой для расчета элементов гальванической цепи является закон Ома[17], получивший строгое и многократное

подтверждение в прекрасных работах других физиков; он, как известно, выражается формулой:

$$F = \frac{A}{L + l},$$

где F — сила тока, A — сумма действующих в цепи электродвижущих сил, L — полное сопротивление самой цепи, а l — сопротивление включенного в нее проводника (в данном случае — электромагнитной катушки); L состоит, однако, как известно, собственно из двух частей, именно, сопротивления перехода и сопротивления жидкости; но поскольку пластинки находятся все время на одном расстоянии друг от друга, то обе части, а стало быть, и их сумма, изменяются в одном и том же обратном отношении к поверхности пластинок. Поэтому нет необходимости разделять эти два сопротивления, и мы можем объединить их одним обозначением L. Далее, под l понимается сопротивление подводящих проводов, которыми катушка включается в цепь; так как, однако, в обычных случаях длина этих проводов незначительна в сравнении с длиной проволоки катушек, а путем увеличения толщины их сопротивление может быть уменьшено до любой величины, то можно не принимать этого обстоятельства во внимание, чтобы излишне не усложнять формулу. За единицу электродвижущей силы мы принимаем электродвижущую силу элемента цинк— медь, так что электродвижущая сила всей цепи, или A, пропорциональна числу пар; наконец, сопротивление как L, так и l, отнесены к единице длины определенной медной проволоки, причем предполагается одинаковое качество меди.

19

Пусть имеем:

Размеры всей имеющейся в работе поверхности цинка $= s$
Сопротивление пары пластинок на единицу поверхности $= \lambda$
Толщина проволоки $= x$
Толщина проволоки с обмоткой $= x + \delta$

Количество оборотов, расположенных друг над другом $= y$
Количество пар, которые можно составить из s $= z$
Длина железного бруска, подлежащего намагничению $= a$
Его диаметр $= b$

Тогда можно написать следующее:
длина 1-го ряда витков

$$=\frac{a}{x+\delta}\left(b+(x+\delta)\right)\pi;$$

длина 2-го ряда витков

$$=\frac{a}{x+\delta}\left(b+3(x+\delta)\right)\pi;$$

длина 3-го ряда витков

$$=\frac{a}{x+\delta}\left(b+5(x+\delta)\right)\pi,$$

и вообще длина y-го ряда витков

$$=\frac{a}{x+\delta}\left(b+(2y-1)(x+\delta)\right)\pi;$$

длина же всех рядов витков

$$=\frac{a}{x+\delta}\left(by+y^2(x+\delta)\right)\pi.$$

Следовательно, сопротивление твердых проводников, которое мы обозначили через l, будет

$$l=\frac{a\pi}{x^2(x+\delta)}\left(by+y^2(x+\delta)\right).$$

Поверхность пары пластинок $=\frac{s}{z}$; поэтому для нее сопротивление $=\frac{\lambda z}{s}$, а так как число пластинок $=z$, то для всей цепи будет

$$L=\frac{\lambda z^2}{s}.$$

Так как, далее, электродвижущая сила пропорциональна числу пластинок, или z, то сила токов

$$F = \frac{z}{\frac{\lambda z^2}{s} + \frac{a\pi}{x^2(x+\delta)}\left(yb + y^2(x+\delta)\right)} =$$

$$= \frac{szx^2(x+\delta)}{\lambda z^2 x^2(x+\delta) + a\pi s\left(yb + y^2(x+\delta)\right)}.$$

Если принять магнетизм, возбуждаемый *одним* витком при прохождении тока $=1$, за единицу, то, вследствие того, что магнетизм можно принять пропорциональным числу витков, а с незначительным влиянием, оказываемым шириной катушек, можно, согласно § 15, не считаться, — магнетизм, возбуждаемый всей катушкой, выразится или как

$$M = F\frac{ya}{(x+\delta)},$$

или как

$$M = \frac{szx^2 ya}{\lambda z^2 x^2(x+\delta) + a\pi s\left(yb + y^2(x+\delta)\right)}. \qquad \text{(A)}$$

Для расположения, отвечающего максимуму, получаем следующие три уравнения:

$$\left(\frac{dM}{dx}\right) = 0 = a\pi s\,(2yb + 2y^2\delta + y^2x) - \lambda z^2 x^3,$$

$$\left(\frac{dM}{dz}\right) = 0 = a\pi s\,(yb + y^2\delta + y^2x) - \lambda z^2 x^3 - \lambda z^2 x^2\delta,$$

$$\left(\frac{dM}{dy}\right) = 0 = a\pi s\,(y^2\delta + y^2x) - \lambda z^2 x^3 - \lambda z^2 x^2\delta.$$

Эти три уравнения написаны так, чтобы наглядно показать, что ни одно из них не может иметь места одновременно с другими, иными словами, что M не может иметь абсолютного максимума, тогда как частные максимумы для x, y и z существуют. Это означает, что как толщина проволоки, так и коли-

чество витков друг над другом и число пластинок каждое в отдельности не могут быть увеличены далее предела, отвечающего максимуму, если одновременно не являются переменными величинами и другие элементы.

20

Формула (A) значительно упрощается, если пренебречь толщиной обмотки δ. Для практики это допустимо по двум причинам: во-первых, потому, что толщина слоя между обмотками обычно незначительна в сравнении с толщиной проводов; во-вторых, обматывание катушек вокруг цилиндров производится не так, как мы принимали при выводе формулы, т. е. проволоки не лежат одна над другой все в одной плоскости; напротив, проволоки последующего ряда витков ложатся в промежутки и углубления предыдущего. Благодаря этому, витки приближаются к железному сердечнику и общая длина проволок оказывается меньше, чем она была принята в вычислениях. То же имело бы место и в том случае, если бы мы могли намотать проволоки хотя и так, как было принято в формуле, но без шелковой обмотки, только при этом ток не должен переходить из одного витка в другой.

Если, согласно этому, положить в уравнении (A) $\delta = 0$, то получим

$$M = \frac{szx^2\,ya}{\lambda z^2\,x^3 + a\pi s\,(yb + y^2\,x)}, \tag{B}$$

а для частных максимумов:

$$\frac{dM}{dx} = 0 = a\pi s\,(2yb + y^2\,x) - \lambda z^2\,x^3,$$

$$\frac{dM}{dz} = 0 = a\pi s\,(yb + y^2\,x) - \lambda z^2\,x^3,$$

$$\frac{dM}{dy} = 0 = a\pi s\,y^2 - \lambda z^2\,x^2.$$

Если определить из первого уравнения $x=f(z, y)$, из второго $y=F(z, x)$, $z=\varphi(x, y)$ и поочередно подставлять эти значения в уравнение (В), мы получим три уравнения, которые выражают каждый из частных максимумов в функции двух остальных переменных.

Если, например, мы будем определять максимум для числа витков, то из уравнения

$$\frac{dM}{dy}=0=a\pi s y^2-\lambda z^2 x^2$$

получим $y=zx\sqrt{\frac{\lambda}{a\pi s}}$, и, подставив это значение для y в уравнение (В), найдем

$$M_m^y=\frac{szx^2 a}{a\pi sb+2zx^2\sqrt{\lambda a\pi s}},$$

если обозначить максимум магнетизма для числа витков y через M_m^y. Отсюда видно, что этот максимум растет с возрастанием z или x и асимптотически приближается к некоторому предельному значению; это предельное значение можно найти, предположив zx^2 настолько большим, что не содержащий этого множителя член $a\pi sb$ в знаменателе можно будет отбросить, как малый сравнительно с $2zx^2\sqrt{\lambda a\pi s}$. Тогда получаем для предельного значения

$$M_m^y=\frac{sa}{2\sqrt{\lambda a\pi s}}=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{sa}{\lambda\pi}}\,.$$

Из полученной формулы $y=xz\sqrt{\frac{\lambda}{a\pi s}}$ следует, таким образом, что для получения максимума магнетизма необходимо, одновременно с количеством витков, проходящих один над другим, увеличить в том же отношении или количество пар пластинок, на которое разрезается данная цинковая поверхность, или толщину проволок. В то же время можно видеть,

что лишь увеличение или усиление всей имеющейся в распоряжении батареи — или путем увеличения s, или уменьшения λ — может еще больше повысить предельное значение $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{sa}{\lambda\pi}}$, независимое от x и z.

21

Отсюда вытекает следствие, что нужно возможно больше увеличить число витков проволоки, если мы хотим как можно ближе подойти к предельному значению максимума; однако практика вносит целый ряд ограничений, зависящих от того, что вся толщина обмотки обычно связана еще с какими-либо другими условиями. Например, при подковообразной форме железных брусков бывает дано расстояние между стержнями; подобное же условие имеет место для расположения железных брусков в электромагнитных машинах и т. п. Нужно также помнить об упомянутом в § 15 некотором ослаблении действия катушек при большем их удалении от железного сердечника, которое несколько уменьшает общее действие, что здесь учтено не было. С этой точки зрения нежелательна слишком большая толщина обмотки, даже если бы она была допустима по другим соображениям.

Ввиду всего этого будет целесообразным поступить следующим образом (и это даст возможность многих практических выводов): будем считать заданным не число витков один над другим, т. е. y, а толщину всей обмотки; обозначив ее через c, имеем $y=\frac{c}{x+\delta}$, или, полагая $\delta=0$, как прежде, $y=\frac{c}{x}$. Отсюда следует

$$M=\frac{szx^2ca}{\lambda z^2x^4+a\pi s(cb+c^2)}. \qquad \text{(C)}$$

Здесь нужно только подобрать еще z и x так, чтобы M было максимальным. Вместо двух различных уравнений, опре-

деляющих это условие, мы получим здесь, однако, два тождественных, а именно:

$$\frac{dM}{dx}=\frac{dM}{dz}=0=a\pi s\,(bc+c^2)-z^2x^4\lambda. \qquad \text{(D)}$$

Из этого уравнения (D) мы можем для данной толщины проволоки найти наиболее целесообразное устройство батареи, и обратно, если мы определим отсюда x и подставим полученное значение в (C), то получим

$$M_m=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{asc}{\lambda\pi\,(b+c)}}. \qquad \text{(E)}$$

Из этого уравнения мы усматриваем, что M_m полностью независимо от числа пар и от толщины проволоки; взаимное соотношение этих двух величин дается уравнением (D), и мы получаем один и тот же максимум при толстых и тонких проволоках, если только соответственным образом устроим батарею.

22

Для четырехугольных железных брусков формула несколько видоизменяется. Обозначив их объем через u, имеем

$$M_m=\frac{1}{2}\sqrt{\frac{asc}{\lambda\,(u+4c)}}. \qquad \text{(F)}$$

Если взять вместо проволоки медную ленту толщины ν, намотанную в несколько слоев, причем на всю длину железного стержня приходится n катушек, то, пренебрегая толщиной изоляционного материала, получим уравнение

$$M=\frac{szcan\nu}{\lambda z^2 a\nu^2+(u+4c)\,cn^2 s}. \qquad \text{(G)}$$

Для толщины ленты ν, которая при определенных n и z отвечает максимуму, имеем уравнение

$$\frac{dM}{d\nu} = 0 = (u + 4c)\,cn^2 s + \lambda z^2 a\nu^2, \qquad \text{(H)}$$

согласно которому можно подобрать соответствующие величины. Если подставить найденное отсюда значение ν в уравнение (G), то получим уравнение, тождественное с (F):

$$M_m = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{asc}{\lambda(u + 4c)}}. \qquad \text{(I)}$$

Здесь, впрочем, нужно заметить, что сопротивление пары пластинок λ отнесено в уравнении (F) к проволоке поперечного сечения $\frac{1^2\pi}{4}$, в уравнении (I) — к проволоке поперечного сечения $= 1$. Поэтому, чтобы λ в обоих уравнениях было одно и то же, нужно его величину в (I) умножить на $\frac{\pi}{4}$, и тогда получим

$$M_m = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{asc}{\frac{\pi\lambda}{4}(u + 4c)}}. \qquad \text{(K)}$$

Согласно этому уравнению, было бы бесспорно выгоднее брать вместо проволоки ленту, если бы уже упомянутое изменение, относящееся к концевым виткам, не оказывало в этом случае еще большего влияния.

Итак, для практики способ наматывания проволоки, при соответствующем устройстве цепи, не имеет никакого значения, играет роль только ее толщина; можно даже покрыть железный сердечник по всей его длине толстой медной трубкой, с [винтовым] прорезом по длине. В этом случае было бы $\nu = c$ и $n = 1$, и так как теперь уже не нужно было бы определять ничего, кроме числа пар z, отвечающего максимуму, из уравнения (H) мы получили бы

$$z^2 = \frac{(u + 4cs)}{\lambda ac}. \qquad \text{(L)}$$

Это уравнение, конечно, может иметь место лишь при z не меньшем 1. Если бы z было меньще 1, это означало бы только то, что с данной поверхности цинка при толщине обмотки c нельзя получить максимума и нужно или увеличить s, или уменьшить c. При этом нужно, однако, заметить, что если для обмотки применяется толстая медная проволока, или толстая медная лента, то сопротивление подводящих проводов которым мы до сих пор пренебрегали, должно быть непременно принято в расчет, поскольку при этих условиях оно может составлять самую значительную часть всего сопротивления.

23

Из уравнения (E)

$$M_m = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{asc}{\lambda\pi(b+c)}}$$

следует:

1) что определенной поверхности цинка отвечает некоторый максимум магнетизма, который превзойти невозможно;

2) что максимумы магнетизма относятся лишь как корни квадратные поверхностей цинка;

3) что путем увеличения толщины обмотки можно усилить магнетизм лишь до некоторого предела, определяемого уравнением

$$M_m = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{as}{\lambda\pi}},$$

как мы видели уже в § 20.

24

Здесь уместно сделать несколько замечаний относительно экономичности действия. Согласно Фарадею, сила тока пропорциональна количеству цинка, который растворяется в каждом элементе в единицу времени; иными словами, если мы обозначим ток, как и прежде, через F, расход в единицу вре-

мени будет Fz, а экономичность действия $\frac{M}{Fz}=q$. Но, согласно § 19, мы имели уравнение $M=\frac{Fya}{x+\delta}$, или, при $\delta=0$ и $y=\frac{c}{x}$, $M=\frac{Fca}{x^2}$, а экономичность действия

$$q=\frac{ca}{x^2 z}.$$

Отсюда видно, что экономичность действия не имеет максимума, а возрастает тем более, чем меньше толщина проволок и число пар пластинок. Если же мы хотим определить экономичность действия, отвечающую максимуму магнетизма, то нужно сопоставить это уравнение с выведенным в § 21 уравнением (D), и тогда получим для экономичности действия при максимуме магнетизма

$$q=\sqrt{\frac{ca\lambda}{\pi s(b+c)}},$$

которому отвечает расход цинка, пропорциональный величине

$$Fz=\frac{s}{2\lambda}.$$

Так как в этих формулах как x, так и z исчезли, то из них следует, что для экономичности действия и для расхода цинка, отвечающим максимуму магнетизма, не играет никакой роли, как достигнут этот максимум: при толстых или тонких проволоках, если только количество пар пластинок подобрано согласно условиям, выражаемым уравнением (D).

Основной результат всех изложенных исследований можно выразить в заключение в виде следующего закона, имеющего весьма важное значение для практики:

„Для данного железного цилиндра одного и того же максимума магнетизма, соответствующего определенной поверхности цинка, можно достигнуть бесчисленным множеством способов, если толщину проволоки выбирать в определенном соотношении с устройством цепи; но каким бы способом мы ни достигли этого максимума, расход цинка за определенное время в точности одинаков".

ДОПОЛНЕНИЕ Э. ЛЕНЦА

В статье о законах электромагнитов, написанной совместно проф. Якоби и мною, нами было показано, что в параллель каждому закону, касающемуся намагничивающего действия катушек на мягкое железо, можно всегда привести точно ему соответствующий, но обратный закон, который относится к индукционному току, возбуждаемому в катушке, намотанной на железный сердечник, при возникновении или исчезновении магнетизма в этом сердечнике. Эти законы изложены мною в отдельной статье (Mém. de l'Acad. sc., t. II, 1833)* [9]. Здесь, однако, имеют место некоторые ограничения, которые я хочу указать подробнее.

В моей статье я установил закон: „Электродвижущая сила токов, индуцируемых в катушках различной ширины витков, с одним и тем же железным сердечником и одним и тем же возбужденным в нем магнетизмом, не зависит от ширины оборотов".

Напротив, в нашей общей статье (§§ 12, 13, 14) мы показали, что хотя этот закон справедлив и в обратном смысле, т. е. магнетизм, возбужденный в железном сердечнике намагничивающей катушкой, не зависит от ширины витков катушки, однако этот закон подлежит некоторым ограничениям для тех витков, которые приходятся ближе к концам железного сердечника, так что более широкая катушка оказывается в этом

---

* Ann., XXXIV, стр. 385.

случае в менее выгодном положении по сравнению с более узкой. Мы показали там также, чем объясняется это отклонение от общего правила.

Поскольку во всем остальном законы в обоих случаях точно отвечают один другому, естественно задать вопрос: не имеют ли место подобные же ограничения общего закона также и для магнито-электрических токов? Я полагаю, что это не подлежит никакому сомнению, так как всю последовательность заключений, которыми мы объяснили уменьшение намагничивающего действия с возрастанием ширины оборотов, можно шаг за шагом применить и к случаю магнито-электрических токов.

Посмотрим, в самом деле, на чертеж, который мы приводили там (фиг. 1, стр. 265), где MN представляет железный сердечник, a и a' — поперечные сечения витков 2 катушек — в одной и той же плоскости $a'ac$, но в различных расстояниях от сердечника, и представим себе теперь случай магнито-электрического тока, именно, что в MN внезапно исчезает определенный, постоянный для всех опытов магнетизм; тогда в каждом витке a и a' возбуждается индукционный ток. В его возбуждении будут при этом участвовать не только те магнитные элементы железа, которые лежат в плоскости обоих токов, но и те, которые лежат поблизости к ним, но тем слабее, чем дальше они лежат от 0, вследствие более косвенного [направления] действия; наконец, в каком-то месте всякое заметное действие прекратится. Мы принимаем, что все частички, еще *заметно* действующие на a при внезапном исчезновении магнетизма, лежат внутри угла man; тогда все частички, действующие на виток a', будут лежать внутри угла $m'a'n'$. Действие на a и a' будет одинаково как для электромагнитного, так и для магнито-электрического случая; то же будет иметь место и в отношении b и b', лежащих у самого конца железа; ибо для тех и других теряется половина индуцирующих железных частичек. Но если витки находятся не на самом конце, а лишь близко к нему, в d и d', то для d' часть действующих железных

частичек будет пропадать, тогда как для d еще все они будут действовать; поэтому действие на более широкую катушку d' будет по необходимости слабее, чем на d, если оно и было в точности одинаково для a и a'. Таким образом, закон, установленный мною для электродвижущей силы магнито-электрических токов, в сущности действителен без всяких изменений лишь для бесконечно длинных железных брусков.

Но если это так, спрашивается, как это я не обнаружил в моих более ранних опытах этого, хоть и незначительного, отклонения от общего закона независимости электродвижущей силы магнито-электрических токов от ширины оборотов? Мы получим ответ на этот вопрос, разобрав подробнее примененный там метод наблюдений.

В моей тогдашней статье я привел два опыта для доказательства закона, о котором идет речь. В первом опыте отношение диаметров к ширине оборотов было = 0.73 дюйма : : 6.57 дюйма; во втором = 0.73 дюйма : 28.0 дюймов. Я ограничусь пока вторым опытом, где отношение диаметров было равно почти 1 : 40: что будет справедливо для этого случая, то будет справедливо в еще большей мере для первого опыта, где это отношение было всего лишь около 1 : 9. Индуцирование тока в катушке получалось следующим образом: катушка диаметра 28 дюймов, состоявшая из 6 витков, которые были намотаны вплотную друг к другу на колесо того же диаметра, надвигалась на железный цилиндр около $^1/_2$ дюйма в диаметре и 2 дюйма длины; к его концу, в одном с ним направлении, были приложены противоположными полюсами две сильные магнитные системы Кулона, так что железный цилиндр сильно намагничивался; когда обе магнитные системы быстро раздвигались в противоположные стороны, в катушке возбуждался индукционный ток. Когда обе системы, из которых каждая имела длину $19^1/_2$ дюймов, лежали у якоря, мы имели здесь как бы магнит длиною 41 дюйм, вокруг которого была обмотана катушка, причем ее расстояние от магнита составляло лишь 14 дюймов. Поэтому угол, обозначенный ранее через man, составлял 112°.

Когда системы внезапно отрывались (от якоря), магнетизм внутри всего этого угла исчезал, и на катушки действовали не только 2 дюйма железного цилиндра, но и оба магнита длиною в $19^1/_2$ дюймов. Отсюда вытекает и объяснение, почему в этом случае не проявлялось действие, невыгодное для более широкой катушки, если допустить, что все магнитные элементы, еще играющие заметную роль для возбуждения индукции, лежат внутри угла 112°, что, конечно, вполне вероятно.

После этих пояснений я должен, таким образом, изменить закон, установленный мною в упомянутой статье в *слишком общем виде*, — что электродвижущая сила магнито-электрических токов не зависит от ширины витков, — в следующем смысле: *этот закон справедлив в таком общем виде лишь тогда, когда индуцирующие магнитные стержни могут рассматриваться как бесконечно длинные по отношению и ширине витков, для более же коротких магнитных стержней в него вносится то ограничение, что действие на более широкие катушки несколько уступает действию на более узкие.*

То же, что сейчас высказано мною в отношении ширины оборотов магнито-электрических катушек, следует заметить и в отношении к другому закону, выведенному мною в упомянутой статье, что *электродвижущая сила в магнито-электрических катушках пропорциональна числу витков*; и в этом случае, при конечной длине индуцирующего магнита, крайние обороты должны развивать несколько меньшую электродвижущую силу. Почему это не выявилось в опытах, изложенных там? Отчасти потому, что катушка тесно прилегала к индуцирующему железному цилиндру, так что ослабление для крайних витков должно было сказаться всего меньше, отчасти же потому, что витки индуцировались не только вследствие исчезновения магнетизма в железном цилиндре, но и вследствие удаления подковообразного магнита, чем как будто увеличивалась длина индуцирующего магнита. Я не считаю нужным разбирать это более детально, ибо этот случай вполне анало-

гичен только что рассмотренному, с той разницей, что здесь применялся подковообразный магнит вместо двух прямолинейных систем. Поэтому и в данном случае закон, что электродвижущая сила пропорциональна числу витков магнито-электрической катушки, должен быть изменен в том смысле, что в строгом значении он применим лишь к таким индуцирующим магнитам, которые могут рассматриваться как бесконечно длинные сравнительно с шириной витков. Еще лучше выразить этот закон уже в самой общей его формулировке так: *электродвижущая сила индукционной катушки равна сумме электродвижущих сил всех отдельных витков.*

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

Доложено 20 января 1843 г.

25

В первом разделе этой статьи мы выявили законы, согласно которым данный железный сердечник намагничивается гальваническим током; напоминаем, что мы получили следующий результат: при данной поверхности батареи и определенной толщине обмотки электромагнитная индукция данного железного сердечника может достигать определенного максимума. Этот максимум, однако, можно получить самыми различными способами, если только, как это легко видеть из ряда условных уравнений для различных случаев, батарея устроена так, что ее сопротивление равно сопротивлению обмотки — проволоки или ленты. Возникает вопрос, какое относительное влияние оказывают размеры железного стержня на количество возбуждаемого в нем магнетизма. Сначала рассмотрим случай, когда электромагнитным способом возбуждаются железные стержни равной длины, но различной толщины.

VI. Какое влияние оказывает толщина железного сердечника на возбуждаемый в нем магнетизм?

26

Наблюдения, произведенные нами ранее с железными цилиндрами различной толщины и приведенные в табл. IIIa и IIIb (стр. 259 и 260), могли бы дать материал для разрешения

этого вопроса, если бы не то обстоятельство, что эти опыты не могли быть поставлены непосредственно друг за другом. В течение нескольких недель, прошедших между опытами, показания мультипликатора и весов могли измениться, так как мы не имели возможности производить наблюдения в отдельном помещении с неизменной установкой приборов. В самом деле, уже ранее, на стр. 252, мы упоминали о том, что опыты с цилиндром в 2 дюйма длины несравнимы с остальными, так как нам пришлось предпринять некоторое изменение в весах, и вернуться при этом к прежним единицам мы не могли. В предшествующих опытах влияние толщины цилиндра было, по отношению к самим опытам, лишь второстепенным обстоятельством; действительно, тогда наша цель состояла только в том, чтобы распространить закон о пропорциональности магнетизма, возбуждаемого в мягком железе гальваническими токами, этим токам также на железные стержни различного диаметра, притом с точностью, отвечавшей всем потребностям практики. Когда же мы подошли ближе к решению указанного здесь вопроса, мы сочли необходимым не только произвести непосредственно друг за другом опыты с железными цилиндрами различного диаметра под действием одного и того же тока, поддерживаемого постоянным, но и увеличить число элементов, могущих послужить для открытия какого-нибудь закона. В предшествующих опытах мы работали всего с 6 цилиндрами; теперь мы заказали еще 4 цилиндра меньшего диаметра, так что в нашем распоряжении было 10 цилиндров в $^1/_6$, $^1/_3$, $^1/_2$, $^2/_3$, $^5/_6$, 1, $1^1/_2$, 2, $2^1/_2$ и 3 дюйма диаметром; увеличивать размеры цилиндров дальше мы сочли нецелесообразным. Метод наблюдений был тот же, которым мы пользовались и в опытах, указанных в первом разделе. Мы брали 2 проволочных катушки, навитые одна на другую, причем обе были намотаны на трубки из листовой латуни. Трубки имели по всей длине продольный прорез, чтоб избежать появления в них индукционного тока. Нижняя катушка надевалась непосредственно на цилиндр диаметром 3 дюйма; на цилиндры меньшего диа-

метра надевались деревянные трубки, которые давали возможность удерживать их все время в точности на оси катушек. Внешняя катушка соединялась с батареей, внутренняя — с индукционным мультипликатором. Постоянный ток соответствовал 1.3 грана при измерении на весах. Сила магнитоэлектрического тока, мгновенно отклоняющего стрелку и пропорционального магнетизму железного сердечника, при этих опытах, как известно, пропорциональна синусу половины угла отклонения. В следующей табл. IX сопоставлены результаты наблюдений. Первый столбец содержит диаметры цилиндров,

Таблица IX

Диаметр цилиндров, в англ. дюймах	Отклонение α	Магнетизм железного сердечника $M = \sin \frac{1}{2} \alpha$
0	6°42′	0.05834
$\frac{1}{6}$	10 40.5	0.09302
$\frac{1}{3}$	16 45	0.14565
$\frac{1}{2}$	19 34.5	0.17000
$\frac{2}{3}$	23 10.5	0.20086
$\frac{5}{6}$	25 1.5	0.21665
1	26 58.5	0.23323
$1\frac{1}{2}$	35 24	0.30403
2	42 58.5	0.36630
$2\frac{1}{2}$	50 24	0.42577
3	60 45	0.50565

второй — наблюдаемые углы; они представляют средние значения из 4 отсчетов; мы и здесь каждый раз делали 4 наблюдения, чтобы исключить влияние эксцентриситета (стрелки) и кручения нити; наконец, третий столбец дает магнетизм различных железных сердечников, $M = \sin\frac{1}{2}\alpha$.

Первое наблюдение, для диаметра $= 0$, было произведено без железного сердечника и дает магнито-электрическую индукцию, вызываемую в индукционной катушке самой электромагнитной катушкой.

27

Второй ряд наблюдений, результаты которого приведены в табл. X, был произведен с теми же железными цилиндрами, но так, что каждая из гальванических катушек плотно обвивала соответствующий железный сердечник, а индукционные катушки, соединенные с мультипликатором, были намотаны непосредственно на ней. Но так как эти индукционные катушки были различной длины, их сопротивление нужно было отдельно определять и учитывать известным образом. Однако мы предпочли соединить все 10 индукционных катушек последовательно в одну непрерывную цепь, все время остававшуюся в магнито-электрической цепи, так что они вместе с мультипликатором оказывали одно и то же неизменное сопротивление. Гальванические же катушки соединялись, само собою разумеется, с батареей одна за другой. Нужно отметить еще одно обстоятельство: обмотанная бумагой проволока, из которой наматывались катушки, была не вполне одинаковой толщины, и поэтому на цилиндрах одной и той же длины получалось неодинаковое число витков. Но так как мы знаем, что как гальваническая, так и магнито-электрическая индукция при той же силе тока пропорциональна числу витков, то это обстоятельство легко учесть. Именно, если обозначить число витков индукционной катушки через m, гальванической —

Таблица X

Диаметр железного цилиндра, в дюймах	$m \cdot n$	Наблюденный угол α	Исправленный угол α'	Магнетизм железного сердечника $M = \sin \frac{1}{2} \alpha'$
$\frac{1}{6}$	8556	6° 7.'5	7° 8′	0.06244
$\frac{1}{3}$	7482	11 40.5	15 38	0.13603
$\frac{1}{2}$	7140	13 43.5	19 16	0.16735
$\frac{2}{3}$	7482	17 45	23 48	0.20620
$\frac{5}{6}$	6320	16 36	26 24	0.22841
1	6806	19 31.5	28 52	0.24914
$1\frac{1}{2}$	7140	26 15	37 6	0.31803
2	6970	33 10.5	48 20	0.40946
$2\frac{1}{2}$	6480	37 7.5	58 54	0.49127
3	7480	49 7.'5	67 30	0.55558

через n, то $\frac{M}{mn}$ выразит среднее действие 1 витка гальванической и 1 витка индукционной катушки. Четвертый столбец, вычисленный по формуле

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{1}{2} \alpha \frac{10\,000}{mn},$$

заключает, поэтому, те приведенные к одной и той же единице отклонения, которые получились бы, если бы каждая гальваническая и каждая индукционная катушки состояли в точности из 100 оборотов. Пятый столбец содержит, таким

образом, не непосредственно наблюдаемые величины магнетизма железных сердечников, а значения, приведенные к равному числу витков, т. е.

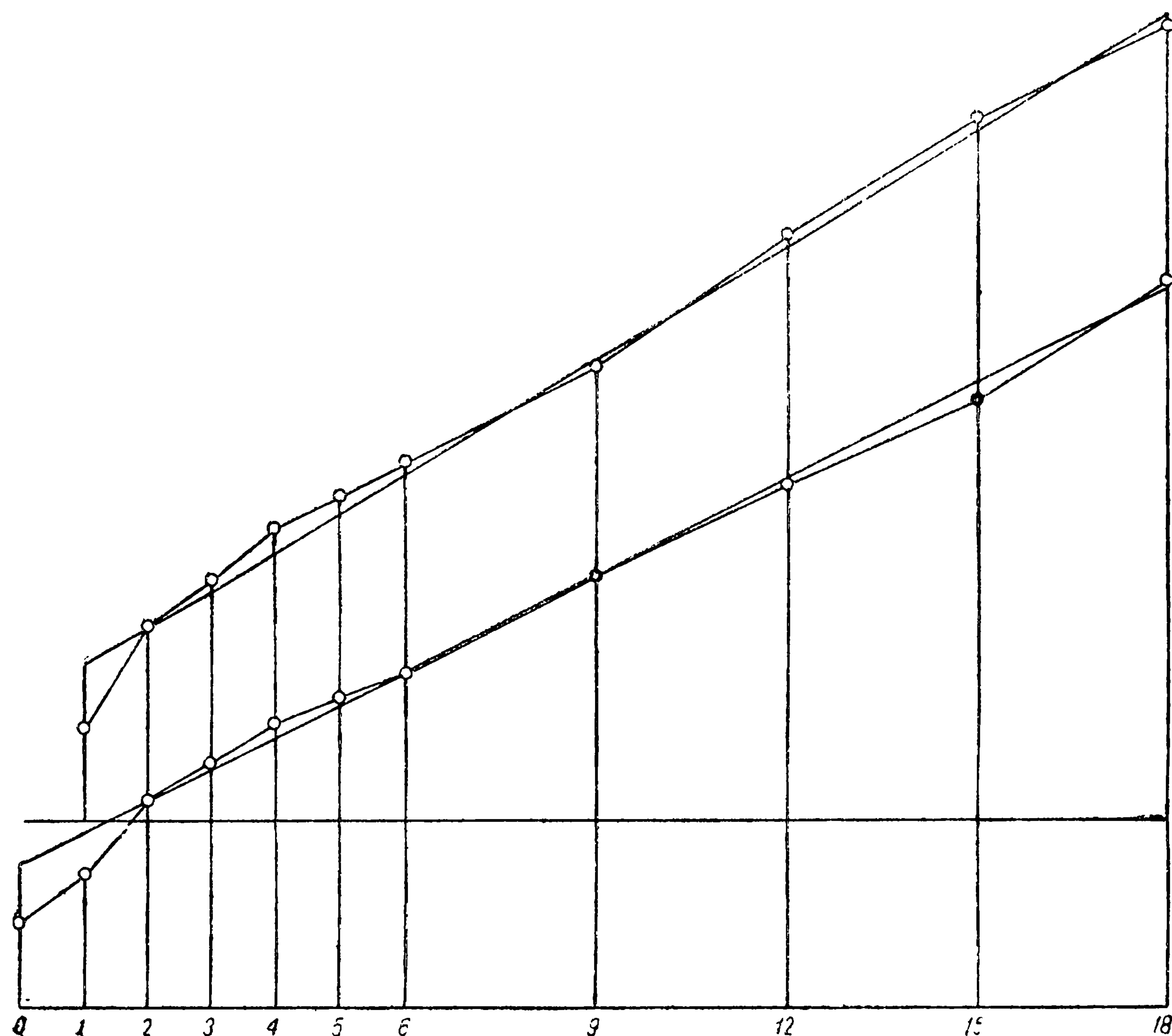
$$M = \frac{10\,000}{mn} \cdot \sin\frac{1}{2}\alpha = \sin\frac{1}{2}\alpha'.$$

Нужно еще добавить, что при этих опытах сила постоянного тока определялась не весами, а мультипликатором, лимб которого был разделен на трети градуса и на котором можно было без труда оценивать наглаз 2—3'.

28

Результаты опытов, помещенные в табл. IX и X, изображены графически на фиг. 3, причем диаметры цилиндров представляют абсциссы, сообщенный [железу] магнетизм — ординаты. Чтобы не запутывать чертеж, кривые изображены одна над другой, причем данные табл. IX — внизу, табл. X — вверху. С первого взгляда на чертеж видно, что кривые в общем имеют одинаковый ход, приближающийся, если отвлечься от отдельных скачков, к прямой линии. Трудно предположить, чтобы эти кривые могли вполне строго представлять собой прямые линии, но все же следовало бы посмотреть, не будет ли такое допущение достаточно для потребностей практики. На первых порах можно было бы удовлетвориться таким приближением, имея в виду многочисленные источники ошибок, присущие этим исследованиям и самому этому методу; важнейшая из таких ошибок, преобладающая над всеми остальными, зависит от качественных различий в железных цилиндрах и отсутствия в них самих полной однородности. 6 железных цилиндров, которыми мы пользовались и в наших предшествующих опытах, были очень тщательно изготовлены из одного и того же сорта железа; остальные же 4, диаметром

$^1/_6$, $^1/_3$, $^2/_3$ и $^5/_6$ дюйма, были сделаны из обыкновенного круглого железа, имеющегося в продаже, так как прежнего сорта железа уже не удалось найти. И вот при рассмотрении кривых мы видим как раз, что цилиндры, обозначенные цифрами 1, 4



Фиг. 3.

и 5, дают самые большие отклонения от правильного хода, цилиндры же, изготовленные ранее, а равно цилиндр диаметром $^1/_3$ дюйма, обозначенный цифрой 2, дают *не бóльшие* отклонения от прямой линии, чем это может зависеть от ошибок наблюдения. Здесь имеются в виду не только ошибки в отсчете отклонений мультипликатора, но и те ошибки, которые происходят от неточного определения диаметра ци-

линдров, от колебаний в постоянстве тока,* от возможных погрешностей в обмотке и, наконец, от различий железа. В первой серии опытов нужно также принимать во внимание расстояние катушек от соответствующих железных сердечников, которое было различно для всех цилиндров; это расстояние, согласно сказанному в § 13 и далее, оказывает некоторое влияние на результаты, и это побудило нас поставить и вторую серию опытов, в которой катушки плотно прилегали к цилиндрам. Однако при графическом изображении в ходе этих двух кривых не обнаруживается различий, которые можно было бы приписать указанному обстоятельству.

Мы вычислили результаты наших наблюдений по формуле

$$M = y + bx,$$

где b — диаметр цилиндров, в дюймах, а x и y — постоянные, определенные по способу наименьших квадратов. Однако вопрос о том, будет ли этот закон прямой линии или приближения к ней сохраняться и до самых крайних пределов при исчезающе малых диаметрах цилиндров, остается пока совершенно открытым. При вычислении постоянных мы, по указанным причинам, не принимали в расчет цилиндров диаметра $^1/_6$, $^2/_3$ и $^5/_6$ дюйма. Табл. XI содержит вычисления для первой серии опытов по формуле

$$M = 0.10196 + 0.13264\,b,$$

а табл. XII — для второй серии, по формуле

$$M = 0.08664 + 0.15880\,b.$$

В третьем столбце даны углы

$$\alpha' = 2 \arcsin(M).$$

* Опыты были произведены в начале 1838 г., когда постоянные цепи были уже известны, но еще мало употребительны. Не был еще известен и необходимый при таких опытах регулятор тока (вольт-агометр). Постоянство тока достигалось, как и ранее, более или менее глубоким погружением батареи в жидкость.

Таблица XI

Диаметр цилиндра, в дюймах	Наблюденный угол, α	Вычисленный угол α	Разность
$\frac{1}{3}$	16°45′	16°48′	— 3′
$\frac{1}{2}$	19 34.5	19 22	+12.5
1	26 58.5	27 8	— 9.5
$1\frac{1}{2}$	35 24	35 2	+22
2	42 58.5	43 6	— 7.5
$2\frac{1}{2}$	50 24	51 24	— 1°
3	60 45	59 58	+47

Таблица XII

Диаметр цилиндра, в дюймах	Наблюденный и приведенный угол α′	Вычисленный угол α′	Разность
$\frac{1}{3}$	15°38′	16° 2′	— 24′
$\frac{1}{2}$	19 16	19 6	+ 10
1	28 52	28 26	+ 26
$1\frac{1}{2}$	37 6	37 54	— 48
2	48 20	47 42	+ 38
$2\frac{1}{2}$	58 54	57 52	+1° 2
3	67 30	68 32	—1 2

Прямые, соответствующие обеим вышеуказанным формулам, также изображены на чертеже, и хотя разности значительно превосходят ошибки наблюдений по мультипликатору, все же они могут быть приписаны упомянутым случайным обстоятельствам. Действительно, знаки разностей обнаруживают почти правильное чередование, так что прямые можно считать или на самом деле прямыми, или весьма близкими к прямым. Во всяком случае — это-то как раз и важно — масса цилиндров не имеет здесь существенного влияния, особенно если исключить цилиндры очень малого диаметра; таким образом, для большей части практических запросов мы можем принять положение, что

Для массивных цилиндров одинаковой длины и с диаметром более $^1/_3$ дюйма, магнетизм, сообщаемый им гальваническими токами одинаковой силы при посредстве катушек с одинаковым числом оборотов, пропорционален диаметру этих цилиндров.

Мы не можем не упомянуть в связи с этим известные опыты Барлоу, согласно которым магнитная индукция мягкого железа под влиянием земного магнетизма зависит не от массы, а лишь от поверхности, а также опыты, произведенные проф. Парротом в Дерпте и одним из нас. И эти опыты (см. Bulletin scientifique, t. I, стр. 121; t. II, стр. 37) привели к аналогичным результатам.

Из нашего закона, таким образом, следует, что если дело идет о получении индукционных токов путем электромагнитного возбуждения мягкого железа, то в экономическом отношении выгоднее пользоваться бóльшим количеством железных брусков меньшего диаметра, чем брать один брусок значительно большего диаметра. При этом предполагается, что длина бруска ограничена известной величиной. Если, например, мы хотим получить магнетизм сильнее в n раз, то в первом случае вес железа, который понадобился бы, был бы больше только в n, во втором — в n^2 раз.

29

Было бы, далее, очень желательно иметь возможность исследовать и сравнить свободный магнетизм при концах этих железных брусков различного диаметра. Однако обычные методы, применяемые при подобных исследованиях, наталкиваются на столь многочисленные материальные трудности, что не приходится ожидать от них сколько-нибудь точных результатов. С другой стороны, на первый раз можно обойтись и без такого исследования, так как оно должно служить в известной степени лишь для проверки высказанного нами выше закона. Действительно, мы можем допустить, что измеренные нами общие количества магнетизма равномерно распределены по поверхности наших цилиндров, так что каждый элемент поверхности, находящийся в одинаковом удалении от плоскости основания, обладает одинаковым магнетизмом, а если так, то нет никаких оснований к тому, чтобы это не имело места и для краевых линий этих плоскостей. Мы можем при этом совсем отвлечься от того, как это намагничение распределяется по длине цилиндра, а так как последняя для всех цилиндров одинакова, то можно принять, что свободный магнетизм краев также пропорционален диаметрам цилиндров, так что, например, подъемные силы этих цилиндров, если к их концам приложить якорь, тоже будут относиться, как их диаметры. Правда, на самых плоскостях основания свободный магнетизм уже не будет распределяться одинаково, но поскольку мы знаем, что самое сильное действие имеет место всегда на краях, то разница, зависящая от того, что подъемные силы принимаются пропорциональными диаметру, будет не очень велика.

Дело обстоит, однако, иначе с брусками различной длины, для которых общие количества возбуждаемого магнетизма зависят не *только* от числа электромагнитно возбуждаемых витков; в этом легко убедиться по более сильному индукционному току, который получается, если приложить якорь к железному бруску, на который надета двойная электромагнитная и магни-

то-электрическая катушка. В этом случае недостаточно знать только общий магнетизм, необходимо также найти и закон его распределения. Совершенно необходимо также экспериментально исследовать *относительную величину* свободного магнетизма *концевых плоскостей* для брусков различной длины, ибо если бы даже закон распределения общего магнетизма был известен, вывести из него заключение о свободном магнетизме было бы, вероятно, довольно сложно. Подобное исследование могло бы дать свои результаты независимо от исследований распределения [магнетизма]; к тому же в отношении применяемого метода оно представляло бы не так уж много трудностей, так как нужно было бы сравнивать бруски одинакового диаметра; наконец, это исследование было настоятельно необходимо для связанных с ним практических целей. Поэтому мы даем тут же эту часть наших исследований, хотя этим несколько отступаем от того порядка, в каком они проводились в действительности.

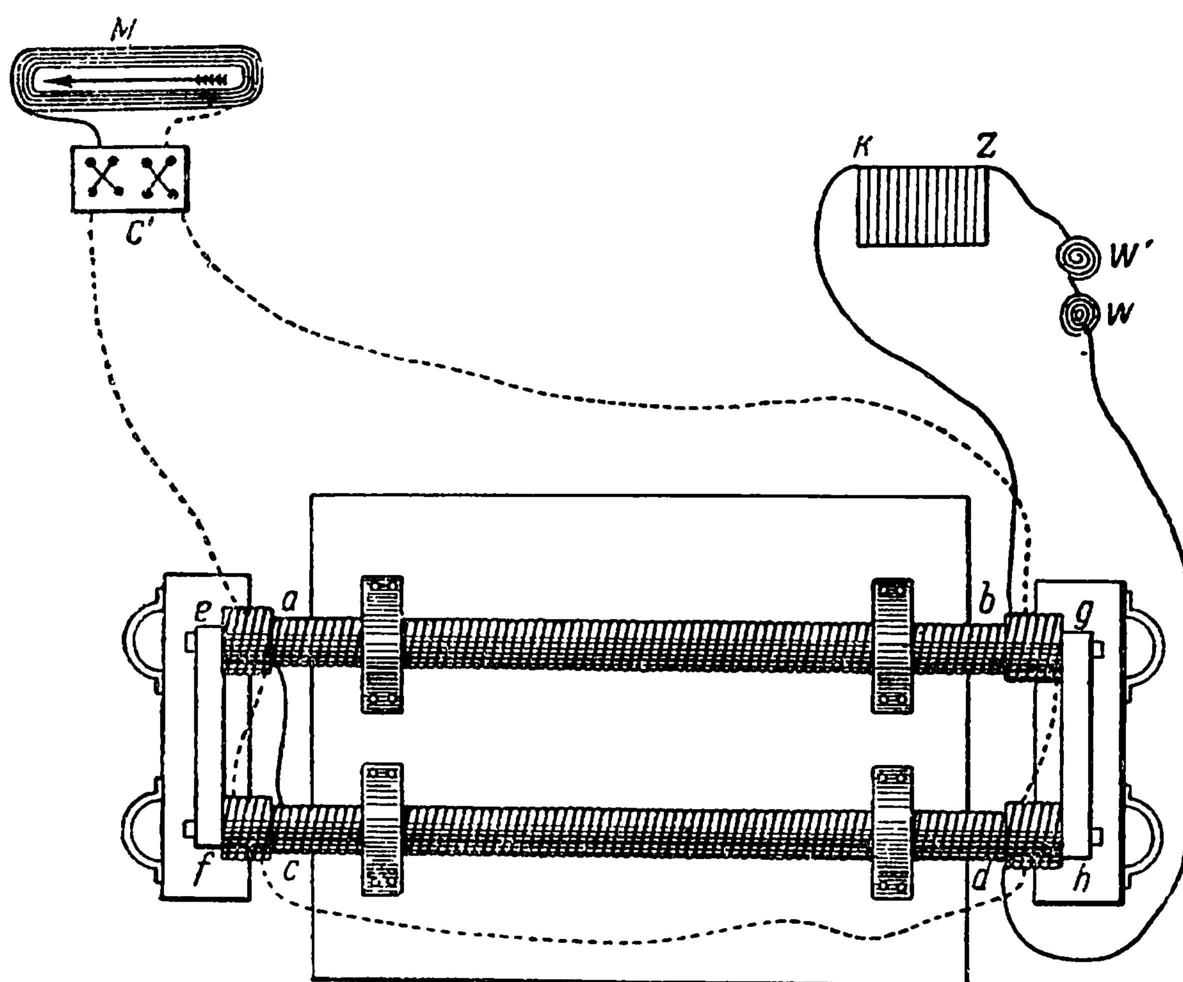
VII. О свободном магнетизме концевых плоскостей для электромагнитных стержней одинакового диаметра и неодинаковой длины

30

По различным причинам, на которых мы не находим нужным здесь останавливаться, мы сочли не применимыми к нашему случаю методы, которыми до сих пор пользовались другие физики для исследования свободного магнетизма магнитных брусков. Мы воспользовались, поэтому, особым косвенным методом, в основе которого лежит следующая гипотеза. Если приложить к магнитному бруску якорь из мягкого железа, — случай, который как раз чаще всего встречается в практике, — то мы можем принять, что количество разложенной[18] магнитной материи, или общий магнетизм, который развивается в этом мягком железе, пропорционален свободному магнетизму того места магнитного бруска, к которому приложен якорь. Это

допущение просто и вряд ли может вызвать возражение, ибо, поскольку условия во всех случаях одинаковы, можно отвлечься от способа распределения [магнетизма] в мягком железе; даже если свободный магнетизм в том месте бруска, к которому приложен якорь, благодаря этому изменился, то и в случае такого изменения первоначальный свободный магнетизм мог бы найти свое выражение не иначе, как в форме постоянного множителя. Если мы представим себе, что на такое мягкое железо надета индукционная катушка, то в момент отрыва возникнет индукционный ток, который должен быть пропорционален исчезающему общему магнетизму, а также, следовательно, и свободному магнетизму места соприкосновения. Фиг. 4 дает подробности установки для наших опытов: *ab*, *cd* представляют 2 цилиндрических бруска из мягкого железа, диаметром $1^1/_2$ дюйма, прочно укрепленных на доске в точности параллельно друг другу. Вокруг каждого, по всей его длине, навита катушка из обмотанной медной проволоки, толщиною 0.075 дюйма; концы проволоки ведут к полюсам батареи; предварительно включаются упомянутые в первом разделе катушки гальванических весов, обозначенные на чертеже через W, W'. 2 якоря, *ef* и *gh*, имеют форму подковы и состоят из железных цилиндров в 2 дюйма длиной, $1^1/_2$ дюйма толщиной, привинченных к железной поперечине. Каждый из цилиндров был обмотан в 3 слоя тонкой проволокой по 108 оборотов, всего, следовательно, получалось 324 оборота. Оба конца были подведены к мультипликатору M, на котором индукционные токи измерялись тем же способом, как и прежде. В эту индукционную цепь был включен в C' еще коммутатор, чтобы иметь возможность легко изменять направление тока, имея в виду необходимость 4 наблюдений в течение каждого из опытов. Кроме того, после каждого наблюдения включался модератор, или успокоитель (§ 5), чтобы скорее привести стрелку к состоянию покоя. Каждый из якорей был укреплен на толстой доске, на которой находились 2 ручки, за которые нужно было браться всей рукой; устройство рассчитано так, чтобы положение якоря

было каждый раз по возможности одно и то же. Так как с точки зрения одинаковости индукционных токов отрыв якоря более выгоден, чем его наложение, то мы всегда и применяли отрыв. Мы сочли при этих опытах нецелесообразным получать индукционные токи простым размыканием гальванического тока, вследствие остаточного магнетизма, который для замкнутой



Фиг. 4.

магнитной цепи сильнее, чем для прямого бруска. В качестве помощников мы привлекли двух военных, привычных к движениям по команде. Ход опытов был следующий. Сила тока, получаемого от батареи из 12 пар пластинок платина—цинк в разведенной серной кислоте, измерялась помощью весов и регулировалась поднятием и опусканием батареи до тех пор, пока не достигала величины 500 миллиграмм. После этого по данному знаку индукционная цепь замыкалась вторым наблюдателем, и вскоре после этого давался сигнал к одновременному отрыву обоих якорей в тот момент, когда ток, и без того почти неизменный, принимал в точности вышеуказанную вели-

чину; тогда на индукционном мультипликаторе наблюдалось отклонение стрелки. Наши опыты были произведены с 6 парами железных брусков длиной 3, $2^1/_2$, 2, $1^1/_2$, 1 и $^1/_2$ фута. Результаты этих опытов сопоставлены в табл. XIII, где первый столбец дает длину брусков, второй — число находящихся на них витков, третий — угол отклонения α, представляющий всегда среднее из 4 наблюдений, четвертый — соответствующую этому углу силу $M = \sin\frac{1}{2}\alpha$, и, наконец, пятый — частное от деления этой силы на число витков, или среднее действие одного витка.

Таблица XIII

Длина брусков, в дюймах	Число витков n	Угол отклонения α	$M = \sin\frac{1}{2}\alpha$	$\frac{1000\,M}{n}$
3	946	129°12′	0.90333	0.955
$2\frac{1}{2}$	789	91 51	0.71823	0.910
2	634	75 20	0.61106	0.964
$1\frac{1}{2}$	474	58 12	0.48633	1.026
1	315	37 33	0.32185	1.022
$\frac{1}{2}$	163	18 58	0.16476	1.011

Числа последнего столбца должны бы быть одинаковыми, если длина железных брусков не имеет никакого специфического влияния, или если магнетизм концов зависит только от количества витков, расположенных по всей длине брусков. Это, повидимому, так и есть: хотя различия между числами последнего столбца значительно превосходят ошибки наблюдений, но в этих числах не обнаруживается никаких признаков влияния, которое могли бы оказывать размеры железных брусков. Яв-

ственно выраженное разделение чисел на две группы и значения для 3 более длинных и для 3 более коротких цилиндров дают удовлетворительное сходство друг с другом, тогда как между обеими этими группами различия уже более значительны; это определенно указывает на различия в свойствах железа или другие случайности в процессе опытов. Далее, необходимо учесть, что даже если бы магнетизм конечных поверхностей зависел каким-либо образом от длины железного бруска, это влияние могло бы быть лишь незначительно, так как оно замаскировано другими источниками ошибок; в результате, на основании предшествующих опытов, можно с достаточной вероятностью высказать закон:

Магнетизм конечных плоскостей электромагнитов, обмотанных по всей длине электромагнитными катушками, не зависит от длины брусков и, при одинаковых токах, обусловлен лишь количеством охватывающих их витков.

Этот закон имеет исключительно большое значение для конструкции электромагнитов и определенно выявляет ту точку зрения, с которой нужно подходить к устройству этих магнитов для определенных практических целей.

31

Но, чтобы подчеркнуть еще яснее абсолютно преобладающее значение числа витков и исчезающе малое влияние длины брусков, мы поставили другую серию опытов, при которой на концы 6 пар брусков — тех же, что и прежде, — были надеты медные трубки в 2 дюйма длины, причем вокруг каждой из них была сделана обмотка в 240 витков прежней проволоки. Таким образом каждый из брусков мог быть намагничен одним и тем же числом электромагнитных витков, в общем 960, в виде подковообразного магнита. Общая длина проволоки была 680 футов; сила тока, измеренного на весах, — 400 миллиграмм. Так как при отдельных наблюдениях на индукционной буссоли получились необычно большие различия, причину которых об-

наружить не удалось, то мы сочли целесообразным повторить эти опыты, так что углы второго столбца табл. XIV представляют средние из 8 наблюдений.

Таблица XIV

Длина железных брусков, в дюймах	Наблюденный угол α'	$M = \sin \frac{1}{2} \alpha$
3	98°13′	0.75594
$2\frac{1}{2}$	93 10	0.72637
2	92 48	0.72417*
$1\frac{1}{2}$	97 2	0.74915
1	98 28	0.75737
$\frac{1}{2}$	100 33	0.76911

При этих опытах должно, как и раньше, считать числа третьего столбца равными, в особенности принимая во внимание отсутствие закономерности в их ходе; однако все же здесь в большей мере, чем в предыдущих опытах, намечается некоторое постепенное возрастание силы в пользу брусков малой длины. Впрочем, это и не удивительно, так как относительное положение электромагнитных катушек столь сильно разнится для различных железных брусков, и свободная от обмотки часть последних колеблется от 2 до 32 дюймов.

32

Чтоб сравнить друг с другом эти две серии опытов, нужно привести их к одинаковым токам и одинаковому числу витков, т. е. помножить числа четвертого столбца табл. XIII на $\frac{960}{\pi} \cdot \frac{400}{500} = \frac{768}{\pi}$. В табл. XV столбец третий содержит сопоставление приведенных таким образом чисел.

* В извлечении из этой статьи, которое автор сообщал в 1840 г. Британской ассоциации в Глазго (см. Pogg. Ann., Bd. LI), вкралась опечатка, а именно для двухфутового бруска была дана сила $M = \sin 43°24' = 0.68708$. После повторного просмотра оригинальных наблюдений оказалось: $M = \sin 46°24' = 0.72417$. *Якоби.*

Таблица XV

Длина брусков, в дюймах	Магнетизм концов при полностью обмотанных брусках	Магнетизм концов, когда витки находятся на концах
3	0.73337	0.75594
$2\frac{1}{2}$	0.69930	0.72637
2	0.74022	0.72417
$1\frac{1}{2}$	0.78798	0.74915
1	0.78470	0.75737
$\frac{1}{2}$	0.77628	0.76911
Среднее . .	0.75364	0.74702

Это прекрасное совпадение средних из двух рядов, которого трудно было ожидать при столь сложных опытах, бесспорно сообщает большую степень вероятности высказанному нами выше закону. Оказалось, что для взаимного исключения случайных обстоятельств не понадобилось даже особенно большого числа наблюдений, и закон выступает в чистом виде. Теперь мы можем высказать этот закон в более общей форме:

Магнетизм концевых плоскостей для железных брусков равной толщины пропорционален числу электромагнитных витков, которые или равномерно распределены по всей длине, или сосредоточены на концах, — умноженному на силу тока.

Или, если соединить этот закон с формулированным ранее законом относительно толщины железных брусков (§ 28, стр. 297):

Магнетизм на концах электромагнитных брусков пропорционален длине проволоки, — намотанной на бруски равномерно по всей их длине или только на их концы, — умноженной на силу тока.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

33

В обоих предшествующих разделах нашей статьи, как и в одной из более ранних работ „О подъемной силе электромагнитов" (Bulletin scientifique, t. V, № 17), мы точно выразили все, что касается устройства электромагнитов, когда надо воспользоваться действием свободного магнетизма их концевых плоскостей. В качестве резюме различных исследований, проведенных нами во всех требующихся направлениях, получается интересный и практически чрезвычайно важный результат, что *если можно произвольно располагать массами железных брусков, а также длиной и толщиной служащей для их обмотки проволоки, то при любой силе тока можно получить электромагниты любой силы.* Ибо, как мы видели, размеры железных брусков сами по себе не оказывают влияния на магнетизм концевых плоскостей, и при упомянутых выше ограничениях он определяется исключительно числом витков, а потому не трудно видеть, что при помощи гальванически эквивалентных проволок любой длины и соответственной толщины можно осуществить любое число витков, а, стало быть, и вызвать электромагнитное возбуждение любой силы. Положим, что выполнено условие, отвечающее максимуму, а именно, что сопротивление катушки равно сопротивлению батареи; тогда при одной и той же силе тока или одном и том же электролитическом действии можно, пользуясь проволокой в n раз бóльшей длины и в n раз большего поперечного сече-

ния, сообщить концевым плоскостям железного сердечника в n раз бо́льшей поверхности магнетизм, больший в n раз, или подъемную силу, бо́льшую в n^2 раз. Иными словами, не усиливая батареи, можно получить любую подъемную силу простым увеличением веса гальванически эквивалентной катушки и соответствующим увеличением поверхности железного сердечника. Этот закон, который имеет лишь статическое значение, но с которым предполагали связать многочисленные механические следствия, имеет как раз в этом отношении много общего с так называемым гидростатическим парадоксом, или с известным законом, *согласно которому давление жидкости пропорционально только высоте столба.*

34

Далее встает вопрос о целесообразном устройстве электромагнитов, если они должны служить для возбуждения индукционных токов. В этом отношении уже более поверхностные опыты показывают, что эти явления подчинены далеко не таким простым законам, как те явления, исследованием которых мы занимались до сих пор. А именно, если надвигать катушку с гальванической и индукционной обмотками на более длинный и на более короткий железные цилиндры, то можно сразу видеть, что в первом случае при размыкании гальванической цепи получается гораздо более сильный индукционный ток, чем во втором; заметно более сильное действие получается даже и в том случае, если к железным цилиндрам прикладывают только якорь из мягкого железа. Это усиление возникает, конечно, не потому, что арматура действует непосредственно на катушку, а потому, что благодаря арматуре в той части самого электромагнита, которая лежит непосредственно под индукционной катушкой, разлагается большее количество магнитной жидкости. Действие усиливается в еще большей мере, если вместо мягкого железа прикладывать электромагнит с противоположными полюсами. Подобное же соотношение имеет место и там, где приходится иметь дело с действиями полюсов,

в частности, для подъемной силы, которая, как известно, отчасти определяется массой приложенного якоря и которая увеличивается в громадной степени, если приложить вместо простого железного бруска брусок той же формы, превращенный в электромагнит. Мы напоминаем при этом о наших опытах над подъемной силой электромагнитов (Bulletin scientifique, t. V, № 17), при которых мы нашли, что при прочих равных условиях притяжение 2 электромагнитов примерно в $4^{1}/_{5}$ раза больше, чем в том случае, когда один из них, служащий якорем, остается ненамагниченным. Из этих соображений, а еще больше из предварительных опытов, которые мы приведем в приложении, следует, что общее количество возбужденного магнетизма не только представляет более сложную функцию длины железного сердечника, но зависит в не меньшей мере и от устройства электромагнитных катушек и места, где они находятся.

35

Представим себе железный сердечник, который покрыт по всей длине или лишь в части ее электромагнитными катушками; представим себе, что он разделен по всей длине на слои, перпендикулярные к оси; тогда общее количество разложенной магнитной жидкости будет равно сумме количеств магнетизма, разложенных в каждом из слоев. Таким образом, исследования этого рода сводятся к вопросу об истинном распределении магнетизма в электромагните и к квадратуре кривой, выражающей закон этого распределения. Само собою разумеется, что эти исследования не следует смешивать с давно предпринятыми Кулоном исследованиями о распределении в магнитном бруске *свободного* магнетизма. В этих последних дело идет о влиянии магнетизма на точку, находящуюся вне магнита, нас же в наших исследованиях интересует окончательное состояние равновесия, или, в известной степени, напряжение, которое возникает в каждом поперечном сечении электромагнита под влиянием индукционного действия магнитных частиц друг на друга. По нашему

мнению, существует лишь один способ изучить и действительно измерить это состояние; его дает нам в руки испытанное нами применение индукционных токов, которые мы получаем, когда уничтожаем магнитное равновесие напряжения и, прерывая гальванический ток, вызываем исчезновение магнетизма. Мы принимаем, — и наши предыдущие опыты дают нам на это право, — *что измеренный индукционный ток пропорционален общему количеству магнитной жидкости, разложенной в этом слое, находящемся непосредственно под индукционной катушкой.* Но нельзя умолчать, что мы убедились раньше в следующем: влияние, которое оказывают на индукционную катушку соседние с нею слои [магнита], хотя и существует, но, в силу очень острого угла, под которым оно направлено при малой толщине обмотки, весьма незначительно, так что мы даже сочли возможным пренебречь им в наших предыдущих исследованиях. Напомним для примера один результат, полученный при многочисленных опытах, которые мы производили в этом направлении: когда мы приложили индукционную катушку, обмотанную 88 витками, к самому полюсу чрезвычайно сильно намагниченного железного бруска длиною $2^1/_2$ фута, по его продолжению, мы обнаружили лишь следы индукционного тока и получили на мультипликаторе отклонение около 0°6.

Способ наблюдений, которым мы пользовались при этих исследованиях, состоял в том, что мы передвигали по электромагниту, имевшему форму цилиндра, индукционную катушку и измеряли количество магнитной жидкости, разложенной в каждом месте, посредством возникающего индукционного тока. Синус половины измеренного угла дает ординату кривой, выражающей закон индукции. Результаты, конечно, будут тем точнее, чем меньше длина передвижной индукционной катушки и чем больше участков железного сердечника подвергаются исследованию. Вряд ли нужно распространяться о том, к каким многообразным исследованиям в этой области может привести этот своеобразный и плодотворный метод.

VIII. Об индукции магнитной жидкости в железных брусках, обмотанных по всей длине электромагнитными катушками

36

Изложенные далее опыты, которые были сопряжены со многими сложными деталями, поскольку мы хотели поставить их возможно широко, относятся к гораздо более позднему периоду, чем те, которые составляют предмет двух первых разделов. Поэтому и средства, которыми мы располагали при их постановке, были уже более совершенны и дали возможность повысить требования к точности наших наблюдений; это относится, в частности, к применявшимся нами при опытах постоянным батареям и регулировке силы тока при помощи вольт-агометра [19]. Целью опытов было: изучить индукцию магнитной жидкости в железных брусках, целиком покрытых гальваническими катушками. Семь железных цилиндров, которыми мы здесь пользовались, имели $1^3/_4$ дюйма в диаметре и длину 4, $3^1/_2$, 3, $2^1/_2$, 2, $1^1/_2$ и 1 фут. Все они были хорошо отшлифованы и могли быть вдвинуты один за другим в медную трубку длиною 4 фута, на которую была намотана в 696 витков медная проволока толщиною $^3/_4$ линии с шелковой обмоткой. Когда мы пользовались железным цилиндром в 4 фута длины, вся эта катушка находилась в гальванической цепи, при цилиндрах же меньшей длины могла быть гальванизирована лишь соответствующая ее часть. Мы достигали этого следующим образом: стержень, соединенный с гальваническим проводом и закрепленный на подвижном рычаге, мог прижиматься посредством винта к определенному месту катушки, обнаженному от обмотки и в точности соответствующему длине цилиндра. Индукционная катушка состояла из медной трубки длиною в точности 1 дюйм, которая была обмотана тонкой проволокой в 123 витка и имела достаточную ширину, чтобы ее можно было с удобством передвигать вдоль электромагнитной катушки.

Для возбуждения гальванического тока мы применяли очень постоянную платино-цинковую батарею Грове, состоящую из 3 последовательно соединенных элементов; поверхность платины у каждого из них была около $^1/_2$ кв. фута. В гальваническую цепь был включен вольт-агометр, чтобы не допускать ни малейших колебаний тока. Ток был один и тот же при всех сериях наблюдений и измерялся помощью тангенс-буссоли, которая имела совершенно ту же конструкцию, как та, какой мы пользовались в наших предшествующих опытах над силой притяжения электромагнитов (Bulletin scientifique, t. V, стр. 260)[[20]]. Буссоль, по которой наблюдался индукционный ток, как и самый метод наблюдений, были те же, что и раньше. Чтобы исключить постоянные ошибки, и теперь производилось всегда по 4 наблюдения; для сообщения железным сердечникам попеременно противоположной полярности, было устроено простое приспособление, позволявшее менять направление гальванического тока.

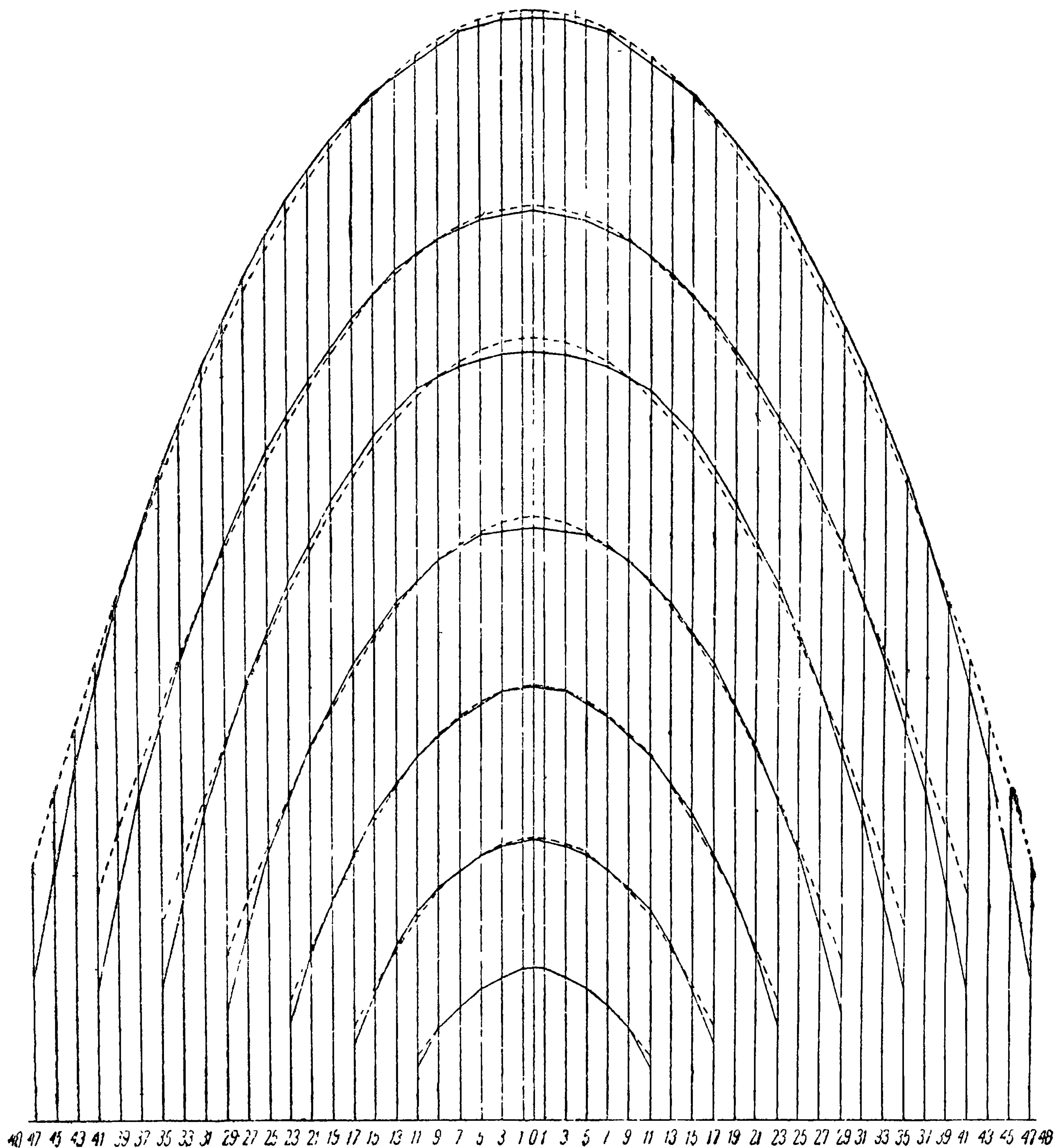
37

Ряды опытов, произведенных нами таким образом, не нуждаются в дальнейших пояснениях, поскольку все они представлены в табл. XVI—XXII. Числа этих таблиц для большей наглядности изображены нами и графически на чертеже (фиг. 5), причем ординаты нанесены в масштабе 0.7 метра $= r \sin 90^\circ$. Ось абсцисс, по которой откладываются длины цилиндров, разделена в более мелком масштабе на полудюймы. Наблюденные кривые проведены сплошными линиями, вычисленные — пунктирными.

Уже с первого взгляда на эти кривые бросается в глаза их сходство с коническим сечением, а именно — с параболой, почему мы и попробовали вычислить наши наблюдения по уравнению параболы; если отнести последнюю к прямой, перпендикулярной оси, уравнение имеет вид

$$z = a - by^2,$$

где z — ордината; y — абсцисса; a, b — постоянные, определяемые из наблюдений по способу наименьших квадратов. Поэтому



Фиг. 5.

вычисленные углы в седьмом столбце каждой из таблиц будут:

$$\frac{1}{2}\alpha' = \arcsin(z = a - by^2).$$

Как из восьмого столбца таблиц, содержащего разности между наблюдениями и вычислениями, так и из сравнения хода кривых на графиках ясно обнаруживается прекрасное согласие с высказанным нами допущением; для более коротких цилиндров, которые в силу меньших размеров заключают и относительно меньшее число элементов, подлежащих наблюдению, это согласие не оставляет желать лучшего. Второй и третий столбцы показывают, что каждый раз наблюдался магнетизм слоев, равно отстоящих от середины, причем одновременно

Таблица XVI

Длина стержня = 1′. Число электромагнитных витков = 153. Вычислено по формуле $\frac{1}{2}\alpha' = \arcsin(z = 0.07173 - 0.000339\, y^2)$

Расстояние середины индукционной катушки от середины стержня $= y$, в $\frac{1}{24}$	Половина угла отклонения $= \frac{1}{2}\alpha$			$\sin\frac{1}{2}\alpha = z$		Вычисленный угол $\frac{1}{2}\alpha' = \arcsin z$	Разность $\frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2}\alpha'$
	вправо	влево	среднее из двух	наблюденный	вычисленный		
0	4° 6′.75	4°6′.75	4° 6′.75	0.07171	(0.07173)*	4° 7′	—0′.25
1	—	—	—	—	0.07139	—	—
3	3°55′.5	3°57′	3°56′.25	0.06867	0.06868	3°56′.25	0
5	3 37.5	3 37.5	3 37.5	0.06322	0.06326	3 37.5	0
7	3 8.25	3 12	3 10.125	0.05528	0.05512	3 10	+0.125
9	2 33.5	2 32.25	2 32.9	0.04416	0.04427	2 32	+0.9
10.76	—	1 42	1 42	0.02967	—	—	—
11	1°27′	—	1 27	0.02530	0.03071	1°45′	—18
				$\Sigma = 0.33343$			

* Первое число шестого столбца не принято в расчет в сумме Σ.

Таблица XVII

Длина стержня = 1'5. Число электромагнитных витков = 228. Вычислено по формуле $\frac{1}{2}\alpha' = \arcsin(z = 0.13549 - 0.000314\,y^2)$

Расстояние середины индукционной катушки от середины стержня $= y$, в $\frac{1'}{24}$	Половина угла отклонения $= \frac{1}{2}\alpha$			$\sin\frac{1}{2}\alpha = z$		Вычисленный угол $\frac{1}{2}\alpha' = \arcsin z$	Разность $\frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2}\alpha'$
	вправо	влево	среднее из двух	наблюденный	вычисленный		
0	7°45'75	7°44'25	7°45'	0.13485	(0.13549)	7°47'	+2'
1	—	—	—	—	0.13518	—	—
3	7°35'25	7°36'	7°35'6	0.13213	0.13267	7°37'	—1'
5	7 20.25	7 20.25	7 20.25	0.12771	0.12765	7 20	0
7	6 53.25	6 54	6 53.6	0.12001	0.12012	6 54	0
9	6 22.5	6 21	6 21.75	0.11081	0.11008	6 19	+3
11	5 39	5 42	5 40.5	0.09888	0.09754	5 36	+4
13	4 44.25	4 47.25	4 45.75	0.08301	0.08248	4 44	+2
15	3 36.75	3 40.5	3 38.6	0.06354	0.06491	3 43	—4
17	2 4.5	—	—	0.03621	0.04474	2 34	—
				$\Sigma = 0.91537$			

выясняется, что для большей части цилиндров геометрическая середина не совпадает с магнитной серединой. Согласие наблюденных величин с вычисленными было бы поэтому еще ближе, если бы все наблюдения были взяты поодиночке, а начало координат, путем введения еще третьей постоянной, было перенесено в магнитную середину. Однако мы сочли возможным обойтись пока без связанных с этим довольно громоздких вычислений, ибо предположение о том, что кривая есть парабола, остается лишь эмпирическим, пока теория магнитной

индукции еще не разработана полностью. Четвертый столбец содержит средние из значений обоих наблюдений вправо и влево от середины; по этим величинам вычерчена и вычислена кривая. Надписи над столбцами достаточно поясняют значение помещенных в них чисел.

Таблица XVIII

Длина стержня = 2'. Число электромагнитных витков = 303. Вычислено по формуле $\alpha' = \text{arc} \sin (z = 0.20896 - 0.000287\, y^2)$

Расстояние середины индукционной катушки от середины стержня $= y$, в $\frac{1'}{24}$	Половина угла отклонения $= \frac{1}{2}\alpha$			$\sin \frac{1}{2}\alpha = z$		Вычисленный угол $\frac{1}{2}\alpha' = \text{arc} \sin z$	Разность $\frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2}\alpha'$
	вправо	влево	среднее из двух	наблюденный	вычисленный		
0	12°1'.5	12°	12°0'.7	0.20811	(0.20896)	12°4'	—3'.3
1	—	—	—	—	0.20867	—	—
3	11°56'.25	11°51'	11°53'.6	0.20608	0.20637	11°55'	—1'.4
5	—			—	0.20178	—	—
7	11°11'.25	11°12'	11°11'.6	0.19412	0.19488	11°14'	—2'.4
9			—	—	0.18569	—	—
11	10°3'	10° 4'.5	10°3'.7	0.17470	0.17419	10°2'	+1'.7
13		—	—	—	0.16040	—	—
15	8°27'.75	8°27'	8°27'.4	0.14706	0.14331	8°18'	+9'.4
17	7 19.5	7 17.25	7°18'.4	0.12717	0.12592	7 14	+4.4
19	6 4.5	6 3	6 3.7	0.10559	0.10524	6 3	+0.7
21	4 39	4 31.5	4 35.2	0.07997	0.08225	4 43	—7.8
23	2 36.75	—	—	0.04557	0.05714	3 16	—
				$\Sigma = 1.84584$			

В большинстве предыдущих опытов, особенно в сериях с цилиндрами больших размеров, наибольшие отклонения при-

Таблица XIX

Длина стержня = 2′.5. Число электромагнитных витков = 377. Вычислено по формуле $\alpha' = \arc \sin (z = 0.28918 - 0.000253\, y^2)$

Расстояние середины индукционной катушки от середины стержня $= y$, в $\frac{1'}{24}$	Половина угла отклонения $= \frac{1}{2}\alpha$			$\sin \frac{1}{2}\alpha = z$		Вычисленный угол $\frac{1}{2}\alpha' = \arc \sin z$	Разность $\frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2}\alpha'$
	вправо	влево	среднее из двух	наблюденный	вычисленный		
0	16°41′	16°43	16°42′	0.23736	0.28918	16°48′	— 6′
1	—	—	—	—	0.28893	—	—
3	—	—	—	—	0.28690	—	—
5	16°22′	16°20′	16°21′	0.28150	0.28296	16°26′	— 5′
7	—	—	—	—	0.27678	—	—
9	15°34′	15°34′	15°34′	0.26836	0.26869	15°35′	— 1′
11	—	—	—	—	0.25857	—	-
13	14°22′	14°22′	14°22′	0.24813	0.24642	14°16′	+ 6′
15	—		—	—	0.23226	—	—
17	12°40′	12°38′	12°39′	0.21899	0.21606	12°29′	+10′
19	—	—	—	—	0.19789	—	—
21	10°20′	10°18′	10°19′	0.17909	0.17761	10°14′	+ 5′
23	—	—	—	—	0.15534	—	—
25	7°24′	7°18′	7°21′	0.12798	0.13105	7°32′	—11′
27	—	—	—	—	0.10474	—	—
29	3°10′	—	—	0.05524	0.07741	4°26′	—1°16′
				$\Sigma = 3.20147$			

ходятся на их концы; поэтому при вычислениях по способу наименьших квадратов эти значения не приняты в расчет. Тем не менее, как уже было упомянуто, для многих из этих стержней между цифрами второго и третьего столбцов существуют

Таблица XX

Длина стержня = 3′. Число электромагнитных витков = 450. Вычислено по формуле $\alpha' = \text{arc} \sin (z = 0.37415 - 0.000230\, y^2)$

Расстояние середины индукционной катушки от середины стержня $= y$, в $\frac{1'}{24}$	Половина угла отклонения $= \frac{1}{2}\alpha$			$\sin \alpha = z$		Вычисленный угол $\frac{1}{2}\alpha' = \text{arc} \sin z$	Разность $\frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2}\alpha'$
	вправо	влево	среднее из двух	наблюденный	вычисленный		
0	21°45′.75	21°24′	21°35′	0.36785	(0.37415)	21°58′	—23′
1	—	—	—	—	0.37392	—	—
3	21°34′.5	21°27′	21°31′	0.36677	0.37208	21°51′	—20′
5	—	—	—	—	0.36841	—	—
7	21°16′.5	21° 2′.25	21°9′	0.36081	0.36289	21°17′	— 8′
9	—	—	—	—	0.35553	—	—
11	20°56′.25	19°59′.25	20°28′	0.34966	0.34634	20°16′	+12′
13	—	—	—	—	0.33571	—	—
15	19°30′.75	18°48′	19°9′	0.32304	0.32243	18°49′	+20′
17	—	—	—	—	0.30772	—	—
19	17°38′.25	16°50′.25	17°14′	0.29626	0.29117	16°56′	+18′
21	—	—	—	—	0.27279	—	—
23	15°10′5	14°36′	14°53′	0.25685	0.25256	14°38′	+15′
25	—	—	—	—	0.23050	—	—
27	12°15′.75	11°46′.5	12°1′	0.20820	0.20659	11°56′	+ 5′
29	—	—	—	—	0.18085	—	—
31	8°33′	8°17′25	8°25′	0.14637	0.15327	8°49′	—24′
33	—	—	—	—	0.12384	—	—
35	3°33′	—	—	0.06192	0.09258	5°22′	—
				$\Sigma = 4.94918$			

очень значительные различия. При этом, впрочем, интересно отметить, что эти различия, за очень немногими исключениями,

Таблица XXI

Длина стержня 3'.5. Число электромагнитных витков = 524. Вычислено по формуле $\alpha' = \arcsin\,(z = 0.43681 - 0.000196\,y^2)$

Расстояние середины индукционной катушки от середины стержня $= y$, в $\frac{1'}{24}$	Половина угла отклонения $= \frac{1}{2}\alpha$			$\sin\alpha = z$		Вычисленный угол $\frac{1}{2}\alpha' = \arcsin z$	Разность $\frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2}\alpha'$
	вправо	влево	среднее из двух	наблюденный	вычисленный		
0	25°46′	25°47′	25°46′	0.43471	(0.43681)	25°54′	— 8′
1	—	—	—	—	0.43662	—	—
3	—	—	—	—	0.43541	—	—
5	25°23′	25°33′	25°28′	0.42999	0.43191	23°35′	— 7′
7	—	—	—	—	0.42722	—	—
9	24°46′	25°4′	24°55′	0.42130	0.42095	24°54′	+ 1′
11	—	—	—	—	0.41312	—	—
13	23°44′	24°12′	23°58′	0.40620	0.40372	23°49′	+ 9′
15	—	—	—	—	0.39475	—	—
17	22°21′	22°43′	22°32′	0.38022	0.38022	22°21′	+12′
19	—	—	—	—	0.36612	—	—
21	20°31′	20°55′	20°43′	0.35375	0.35045	20°31′	+13′
23	—	—	—	—	0.33322	—	—
25	18°21′	18°57′	18°39′	0.31979	0.31442	18°20′	+19′
27	—	—	—	—	0.29412	—	—
29	15°30′	16°23′	15°57′	0.27480	0.27213	15°48′	+ 9′
31	—	—	—	—	0.24863	—	—
33	12°19′	13°14′	12°46′	0.22098	0.22356	12°55′	+ 9′
35	—	—	—	—	0.19693	—	—
37	8°35′	9°31′	9°3′	0.15730	0.16874	9°43′	—40′
39	—	—	—	—	0.13897	—	—
41	3°32′	—	3°32′	0.06163	0.10764	6°11′	—
				$\Sigma = 6.75885$			

Таблица XXII

Длина стержня = 4′. Число электромагнитных витков = 596. Вычислено по формуле $\frac{1}{2}\alpha' = \arcsin\ (z = 0.53033 - 0.000184\,y^2)$

Расстояние середины индукционной катушки от середины стержня $= y$, в $\frac{1'}{24}$	Половина угла отклонения $= \frac{1}{2}\alpha$			$\sin\frac{1}{2}\alpha = z$		Вычисленный угол $\frac{1}{2}\alpha' = \arcsin z$	Разность $\frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2}\alpha'$
	вправо	влево	среднее из двух	наблюденный	вычисленный		
0	31°46′.5	31°49′.5	31°48′	0.52690	(0.53033)	32°2′	— 14′
1	—	—	—	—	0.53015	—	—
3	31°45′	31°42′	31°44′	0.52596	0.52867	31°55′	— 11′
5	—	—	—	—	0.52572	—	—
7	31°31′.5	31°13′	31°22′	0.52051	0.52130	31°25′	— 3′
9	—	—	—	—	0.51540	—	—
11	30°20′	30°20′	30°20′	0.50503	0.50803	30°32′	— 12′
13	—	—	—	—	0.49918	—	—
15	29°28′	29°14′	29°21′	0.49014	0.48886	29°16′	+ 5′
17	—	—	—	—	0.47706	—	—
19	27°52′	27°56′	27°54′	0.46793	0.46376	27°38′	+ 17′
21	—	—	—	—	0.44905	—	—
23	26°7′	26°3′	26°5′	0.43968	0.43281	25°39′	+ 26′
25	—	—	—	—	0.41513	—	—
27	23°43′	23°47′	23°45′	0.40275	0.39596	23°20′	+ 25′
29	—	—	—	—	0.37532	—	—
31	21°10′	21°9′	21°10′	0.36108	0.35320	20°41′	+ 29′
33	—	—	—	—	0.32961	—	—
35	17°57′	18°3′	18°	0.30902	0.30451	17°44′	+ 16′
37	—	—	—	—	0.27800	—	—
39	14°14′	14°26′	14°20′	0.24756	0.24998	14°29′	— 9′
41	—	—	—	—	0.22049	—	—
43	9°42′	9°57′	9°49′.5	0.17078	0.18953	10°56′	—1°6′.5
45	—	—	—	—	0.15799	—	—
47	3°53′.25	4°	3°57′	0.06888	0.12317	7°4′	—
				$\Sigma = 9.33291$			

все — одного знака, так что если бы мы нанесли значения двух ветвей кривых по одну сторону оси, эти кривые нигде бы не пересеклись. Из этого следует, что указанные различия зависят не от ошибок наблюдений, а связаны с реальным смещением магнитной середины, вероятное положение которой можно было бы определить путем введения третьей постоянной, о которой мы также уже упоминали. При всех 7 сериях опытов вычисленные и наблюденные кривые регулярно пересекаются в четырех точках, что следует уже из правильного чередования знаков разностей; мы ограничиваемся только указанием на этот факт, так как нам представляется, что этот закономерный ход нельзя приписать только случайным обстоятельствам или ошибкам наблюдений.

38

Когда каждая из электромагнитных катушек, соответствующая отдельным цилиндрам, покрыта по всей длине индукционной катушкой, получается индукционный ток, который пропорционален количеству магнитной жидкости, разложенной во всем цилиндре. В то же время этот индукционный ток должен быть равен сумме токов, наблюдаемых в последовательных его слоях, или площади всей кривой. Однако поставить подобный род опытов мы могли лишь через долгое время после описанных 7 первых. Поэтому явилась необходимость проверить приборы, в которых за это время могли произойти изменения, и повторить некоторые из предыдущих опытов, чтобы привести их в связь с последующими. Для этого мы выбрали 2 цилиндра, в 2 и $2^1/_2$ фута, и получили результаты, объединенные в следующей табличке:

	Цилиндр в 2 фута		Цилиндр в $2^1/_2$ фута
Положение индукционной катушки . .	0	3	0
Новые наблюдения	11°30′	11°15′	10°49′.5
Прежние, см. табл. XVIII и XIX . . .	12 1.5	11 32.6	16 41

Отсюда следует:

$$\frac{\sin 12^\circ 1.'5}{\sin 11^\circ 30'} = 1.045$$

$$\frac{\sin 11^\circ 32.'6}{\sin 11^\circ 15'} = 1.056$$

$$\frac{\sin 16^\circ 41'}{\sin 15^\circ 49.'5} = 1.053$$

Среднее . . 1.051

Таким образом, для сравнимости более поздних наблюдений с данными 7 предыдущих серий их нужно умножить на множитель 1.051. Для новых наблюдений мы заказали 8 индукционных катушек длиною 6 дюймов каждая; они плотно прилегали друг к другу, когда надвигались на индукционную катушку в числе, отвечающем длине исследуемого железного сердечника. Индукционные катушки, как мы это устраивали и в других случаях, всегда находились одновременно в индукционной цепи, чтобы при всех опытах мы имели дело с одинаковым сопротивлением. Специально были поставлены измерения, при которых определялось сопротивление как 1-дюймовой катушки в 123 оборота (ею мы пользовались в предыдущих 7 рядах наблюдений), так и новых 8 катушек; результаты, выраженные в витках служившего для этого агометра, получились следующие:

I. Для сопротивления малой катушки плюс индукционного мультипликатора . . . . 14150 витков
II. Для сопротивления 8 катушек плюс индукционного мультипликатора . . . . 6876 „

Следует еще упомянуть, что в предшествующих опытах в индукционную цепь включалась вспомогательная проволока, чтобы иметь возможность ослаблять ток в соответствии с чувствительностью мультипликатора. Так как сопротивление этой вспомогательной проволоки было 6358 витков, то сопротивление всей индукционной цепи в прежних опытах составляло

$$6876 + 6358 = 13234.$$

В настоящих опытах агометр включался непосредственно, что давало возможность осуществлять регулирование индукционного тока путем включения уже известных сопротивлений.

Для полного сравнения двух рядов наблюдений необходимо еще принимать в расчет количество индуцируемых оборотов, с которым приходится иметь дело в каждом случае. Мы обращаем внимание на то, что числа, стоящие в шестом столбце табл. XVI—XXII, всюду в конце суммированы; нетрудно представить себе, что точно те же суммы получились бы, если бы все железные цилиндры были покрыты по всей длине такими 1-дюймовыми катушками, каждая в 123 оборота. Число оборотов в каждом случае равно поэтому $n \cdot 123$, где n — длина цилиндров в дюймах. В табл. XXIII приведены все постоянные, встречающиеся в этих опытах, а отсюда в шестом столбце вычислены коэффициенты, на которые нужно умножить последующие наблюдения $\sin\frac{1}{2}\beta$, чтобы их можно было сравнить с только что упомянутыми суммами 2Σ предшествующих опытов.

Таблица XXIII

Длина цилиндров, в дюймах, n	Число витков		Сопротивление индукционной цепи		$y = 1.051 \frac{ml'}{m'l}$
	в прежних опытах, $123 \cdot n = m$	в настоящих опытах, m'	в прежних опытах, l	в настоящих опытах, l'	
12	1476	194	13.234	14.150	8.5493
18	2214	286	13.234	24.150	14.8477
24	2952	379	13.234	39.150	24.2750
30	3690	471	13.234	39.150	24.3607
36	4428	563	13.234	39.150	24.4557
42	5166	660	13.234	39.150	24.3366
48	5904	759	13.234	39.150	24.1835

Далее, табл. XXIV заключает данные опытов, произведенных с предыдущими 7 железными цилиндрами и относящихся

к полному количеству разложенной в них магнитной жидкости. В первом столбце дана длина цилиндров, во втором — половина наблюденных углов, в третьем — значения $y\sin\frac{1}{2}\beta$, а в четвертом — суммы 2Σ, взятые из табл. XVI—XXII.

Таблица XXIV*

Длина цилиндра, в футах	Наблюденный угол $\frac{1}{2}\beta$	$y\sin\frac{1}{2}\beta$	2Σ	Исправленное значение $y\sin\frac{1}{2}\beta$	$\frac{y\sin\frac{1}{2}\beta}{4l^2}$
1	4°22'.5	0.65217	0.66686	0.63932	0.15983
$1^1/_2$	7 8.25	1.84056	1.83074	1.82234	0.20248
2	8 46.5	3.69470	3.69168	3.65812	0.22863
$2^1/_2$	14 49.5	6.23319	6.40294	6.20218	0.24805
3	23 4.5	9.58518	9.89836	9.58518	0.26625
$3^1/_2$	32 12	12.96850	13.51770	12.98939	0.26509
4	45 42	17.30814	18.66582	17.41820	0.27216

Достаточно хорошее согласие чисел третьего и четвертого столбцов подтверждает, таким образом, наш взгляд, *что сумма количеств магнетизма, наблюденных в отдельных слоях, равна общему измеренному количеству разложенной магнитной жидкости.* При этом следует еще заметить, что суммы Σ получены не из действительно наблюденных значений, а из значений, вычисленных по уравнению параболы. Однако рассмотрение кривых на фиг. 5 показывает в то же время, что площадь вычисленной кривой всюду больше, чем площадь наблюденной, которая по самой сущности дела должна давать лучшее согласие с нашими настоящими наблюдениями. Благодаря этому, разности между числами третьего и четвертого столбцов должны бы еще более уменьшиться.

* В отношении пятого и шестого столбцов этой таблицы см. § 40.

39

Кривые, которые мы изобразили на фиг. 5, не представляют истинной магнитной индукции в различных железных цилиндрах. Ординаты изображают некоторые площади и пропорциональны отрезкам кривой *истинной магнитной индукции*, которые ограничены: отрезком оси абсцисс, соответствующим длине индукционной катушки; затем — ординатами, относящимися к [концам] этого участка; и, наконец, заключенным между этими ординатами участком дуги. Если мы обозначим ординаты этой новой кривой $z' = \varphi(y)$ и примем за единицу половину длины нашей индукционной катушки, то эти криволинейные отрезки, которые мы измерили и привели в пятом и шестом столбцах последних таблиц, получатся по формуле

$$\int_{y-1}^{y+1} z'\,dy = z = a - by^2;$$

здесь a и b — постоянные, вычисленные по способу наименьших квадратов. Из этого определенного интеграла можно найти и вид истинной кривой распределения $z' = \varphi(y)$, которая, как мы увидим далее, также является параболой Аполлония. В самом деле, если мы положим

$$z' = a' - b'y^2,$$

то

$$\int_{y-1}^{y+1} (a' - b'y^2)\,dy = 2\left(a' - \frac{1}{3}b'\right) - 2b'y^2 = a - by^2,$$

откуда определяются и новые постоянные:

$$a' = \frac{a}{2} + \frac{1}{6}b,$$

$$b' = \frac{1}{2}b.$$

Отсюда уравнение истинной кривой распределения будет

$$z' = \frac{a}{2} + \frac{1}{6}b - \frac{1}{2}by^2.$$

Для всей площади отрезка параболы, или для общего количества магнетизма, получаем выражение

$$M = 2\int_0^{\frac{l}{2}} z'\,dy = \left(\frac{a}{2} + \frac{1}{6}b\right)l - \frac{1}{24}bl^3,$$

где l — длина цилиндра в полудюймах, a и b должны быть взяты из таблиц, соответствующих различным опытам. Вычисления, произведенные по этой формуле, дали, как и следует ожидать, близкое согласие с суммами 2Σ шестых столбцов и послужили в этом отношении хорошим контролем.

40

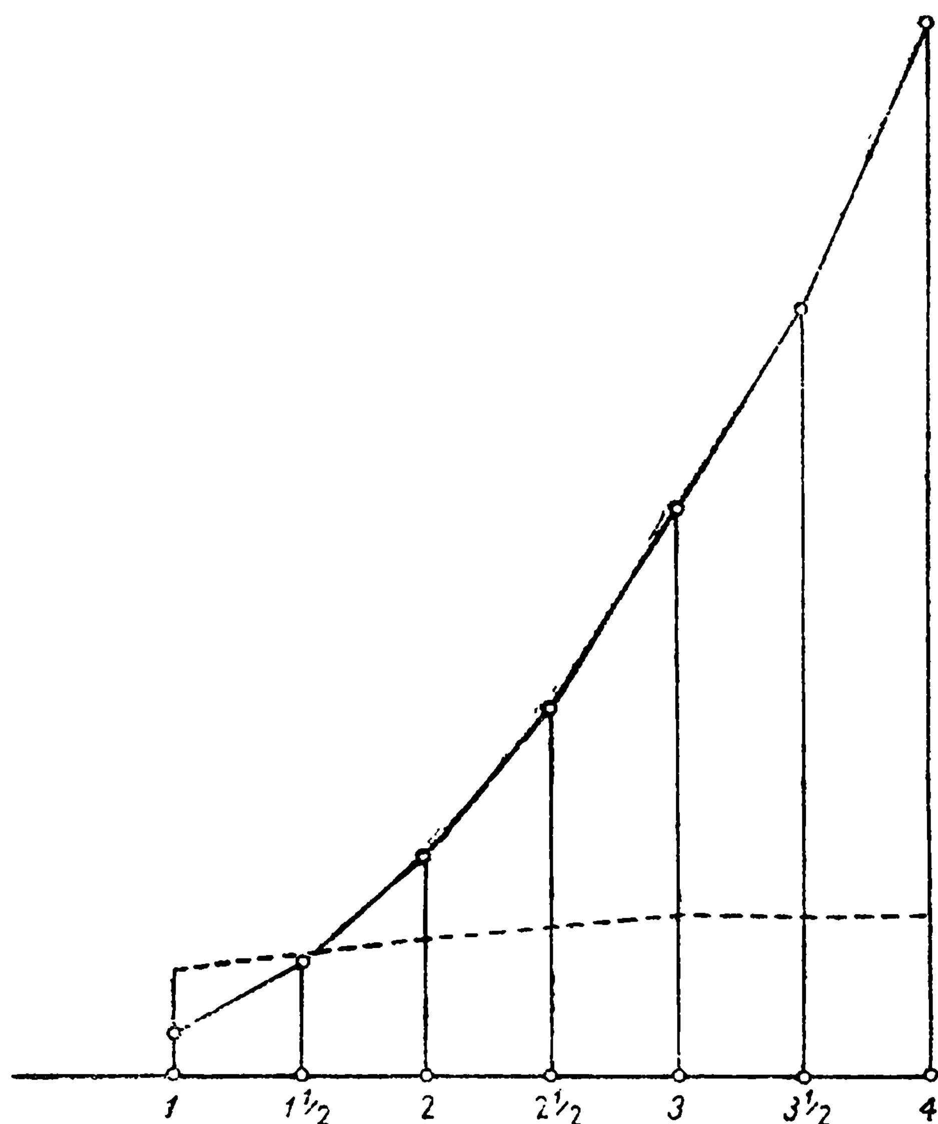
Если мы хотим сравнить друг с другом наблюдения для отдельных цилиндров, нужно ввести еще одну небольшую поправку. В самом деле, мы видим из чисел, помещенных в заголовках таблиц, что число электромагнитных витков не в точности пропорционально длине железных цилиндров. Мы должны поэтому умножить коэффициенты a и b еще соответственно на

$$\frac{150}{153},\quad \frac{222}{228},\quad \frac{300}{303},\quad \frac{375}{377},\quad \frac{450}{450},\quad \frac{525}{524},\quad \frac{600}{596};$$

после введения этой поправки мы получим следующие уравнения для истинных кривых индукции:

Для	1 фута	длины	$z' = 0.03521 - 0.000166\,y^2$
„	$1\frac{1}{2}$ „	„	$z' = 0.06699 - 0.000155\,y^2$
„	2 футов	„	$z' = 0.10350 - 0.000142\,y^2$
„	$2\frac{1}{2}$ фута	„	$z' = 0.14387 - 0.000126\,y^2$
„	3 футов	„	$z' = 0.18721 - 0.000115\,y^2$
„	$3\frac{1}{2}$ фута	„	$z' = 0.21885 - 0.000098\,y^2$
„	4 футов	„	$z' = 0.26698 - 0.000092\,y^2$

Значения, приведенные в третьем столбце табл. XXIV, вычислены заново с учетом этих поправок, внесены в пятый столбец и изображены графически на фиг. 6. Из них можно видеть, как, впрочем, видно и по вышеприведенным постоянным, что когда железные цилиндры покрыты электромагнитными и индукционными катушками по всей длине, индукционные токи возрастают быстрее, чем в отношении квадратов длин. С этой целью мы привели соответствующие числа в шестом столбце таблицы XXIV. На чертеже кривая, соответствующая этим числам, проведена пунктиром. Эти числа в известной мере представляют специфические действия железа при различных длинах, поскольку они, согласно ранее установленным нами законам, освобождены от влияния числа гальванических и индукционных витков. Отсюда сразу можно убедиться также, что приращения убывают при возрастании длины цилиндров, так что где-нибудь они должны достигать максимума, или эти приращения асимптотически приближаются к некоторой прямой. Мы не могли делать попыток выяснить эти законы, или, говоря в самой общей форме, выразить постоянные, которые были получены на основании 7 вышеприведенных рядов наблюдений, в функции длины железных цилиндров: мы имеем для этого слишком мало элементов наблюдений, из которых притом те или иные пришлось бы еще



Фиг 6

исключить, как подверженные слишком многим искажающим влияниям.

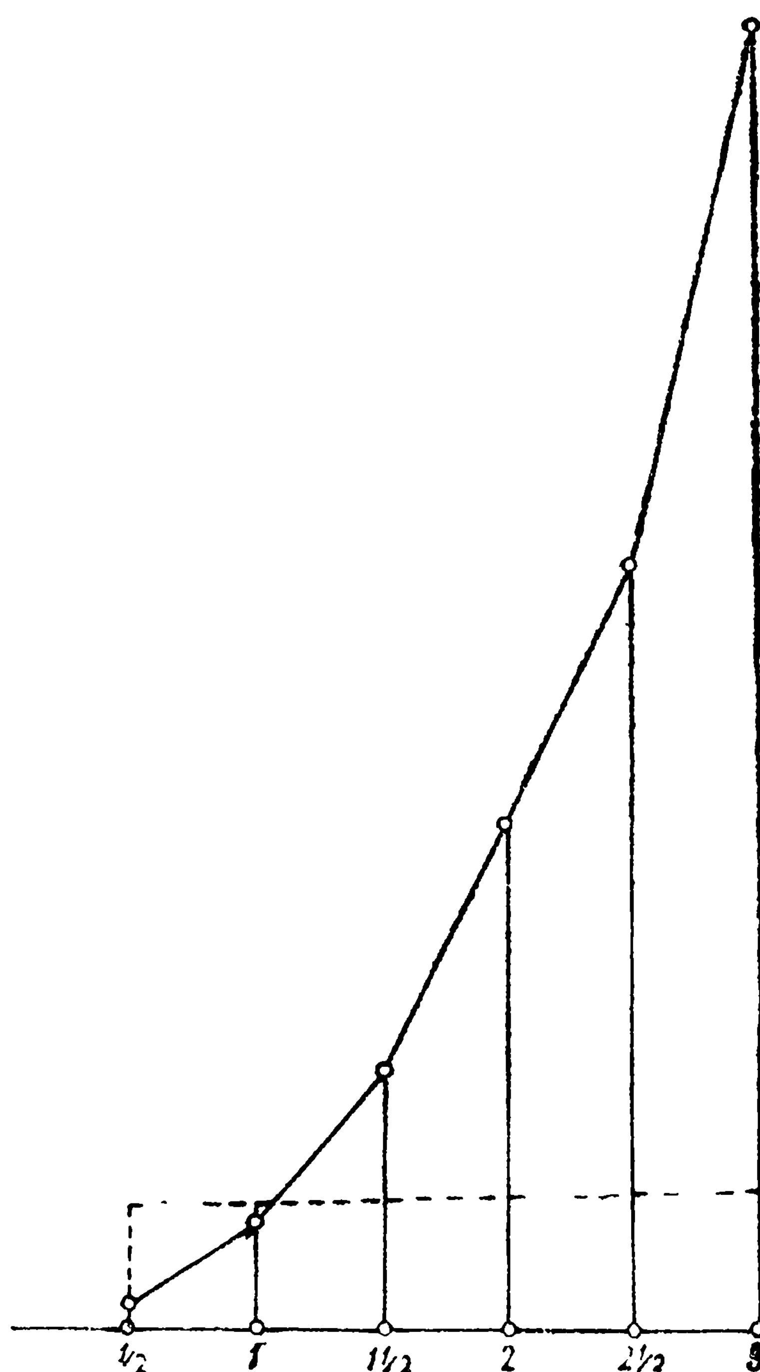
41

Мы приводим здесь, далее, еще одну, стоящую особняком и проведенную значительно ранее, серию наблюдений, которая также имела целью изучить влияние длины цилиндров на общее количество возбуждаемого в них магнетизма. Для этой цели мы разрезали железный стержень, прокатанный в форме цилиндра, на 6 частей, длиною $^1/_2$, 1, $1^1/_2$, 2, $2^1/_2$ и 3 фута, и покрывали их затем соответствующим числом индукционных и гальванических катушек. Последние состояли из медных трубок длиною в 6 дюймов, имевших продольный разрез по всей длине; на них было намотано 2 слоя медной проволоки один на другой, соответственно в 88 и 63 витка. Внешняя обмотка из 63 витков более толстой проволоки была соединена с батареей, внутренняя — из 88 витков — с индукционным мультипликатором. Все 6 индукционных катушек были включены в индукционную цепь, чтобы иметь во всех опытах постоянное сопротивление. Ток, измеренный весами, составлял 600 миллиграмм. Результаты опытов приведены в табл. XXV и изобра-

Таблица XXV

Длина железных стержней, в футах	Наблюденный угол отклонения α	Магнитная сила $\sin\frac{1}{2}\alpha$	Специфическое действие железа $\frac{\sin\frac{1}{2}\alpha}{yl^2}$
$^1/_2$	1°15′	0.01091	0.01091
1	5 43.5	0.050001	0.01250
$1^1/_2$	14 43.5	0.12813	0.01424
2	28 55.5	0.24973	0.01561
$2^1/_2$	44 54	0.38188	0.01528
3	82 10.5	0.65720	0.01826

жены графически на фиг. 7, причем кривая, отвечающая числам четвертого столбца, проведена пунктиром. При этих опытах также обнаруживается, что числа четвертого столбца



Фиг. 7.

все время возрастают, но что, повидимому, и здесь имеет место убывание приращений. Все же линия, изображающая эти результаты графически, очень мало отличается от прямой, за исключением наблюдения с $2^1/_2$-футовым стержнем, где заметен скачок.

42

В заключение приведем еще несколько разрозненных опытов, поставленных нами в самом начале наших работ, а именно — *над магнитной индукцией в железных цилиндрах, покрытых электромагнитными катушками не по всей длине.*

Таблица XXVI

Номер электромагнитной катушки	Сила индукционного тока	Вычисленный индукционный ток
I	0.10517	
II	0.17966	
III	0.22877	
IV	0.26387	
V	0.25671	
VI	0.24213	
VII	0.17988	
VIII	0.09237	
I + II	0.29758	0.28483
I + II + III	0.55194	0.51360
I + II + III + IV	0.83652	0.77767

Цилиндр длиною 3 фута и диаметром $1^1/_2$ дюйма был покрыт по всей длине индукционной катушкой в 535 оборотов. Поверх ее были намотаны 8 отдельных катушек, каждая из которых имела длину около $4^1/_2$ дюйма и состояла из 46 витков несколько более толстой проволоки. Эти катушки, поодиночке или в любых комбинациях, могли быть соединены с батареей, которая давала ток, измеряемый на электромагнитных весах весом в 1000 миллиграмм; ток оставался постоянным. В столбце втором табл. XXVI приведены индукционные токи, которые

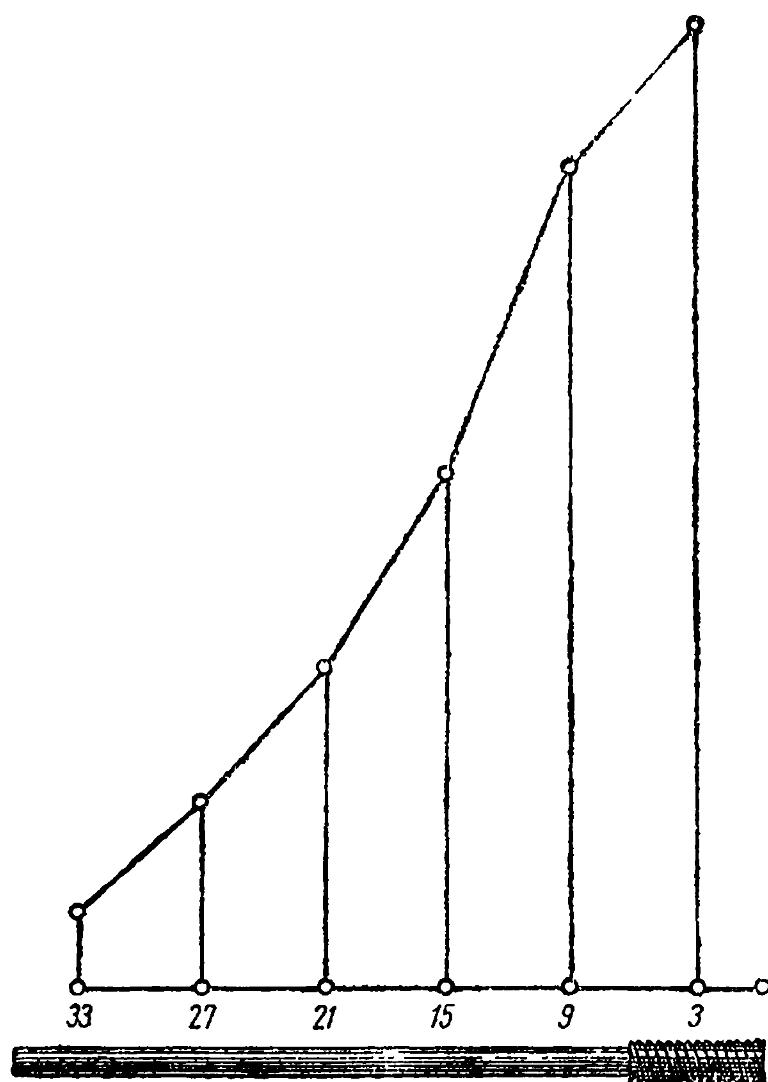
получались при соединении с батареей одной из катушек, указанной в столбце первом. Номера считаются от конца цилиндра.

Эта серия опытов была прервана некоторыми случайными обстоятельствами и позднее не могла быть возобновлена.

Из третьего столбца следует, что токи, вычисленные по отдельным суммам, значительно слабее, чем наблюденные в действительности, — явление, которое находится в полном соответствии со сделанным нами замечанием (в § 34) относительно взаимного усиления (индукции) электромагнитных железных стержней.

43

На другом железном стержне, длиною также 3 фута и диаметром $1^1/_2$ дюйма, находилась у одного конца гальваническая катушка в 6 дюймов длины из 63 витков. Индукционная катушка той же длины 6 дюймов из 88 витков надвигалась на



Фиг 8.

Таблица XXVII

Удаление середины индукционных катушек от конца стержня, в дюймах	Сила индукционного тока
3	0.24434
9	0.20834
15	0.13009
21	0.08063
27	0.04600
33	0.01896

различные участки (стержня), и в результате получались индукционные токи, соответствующие количествам разложенной магнитной жидкости; они приведены в табл. XXVII. Гальванический ток был равен 1000 миллиграмм.

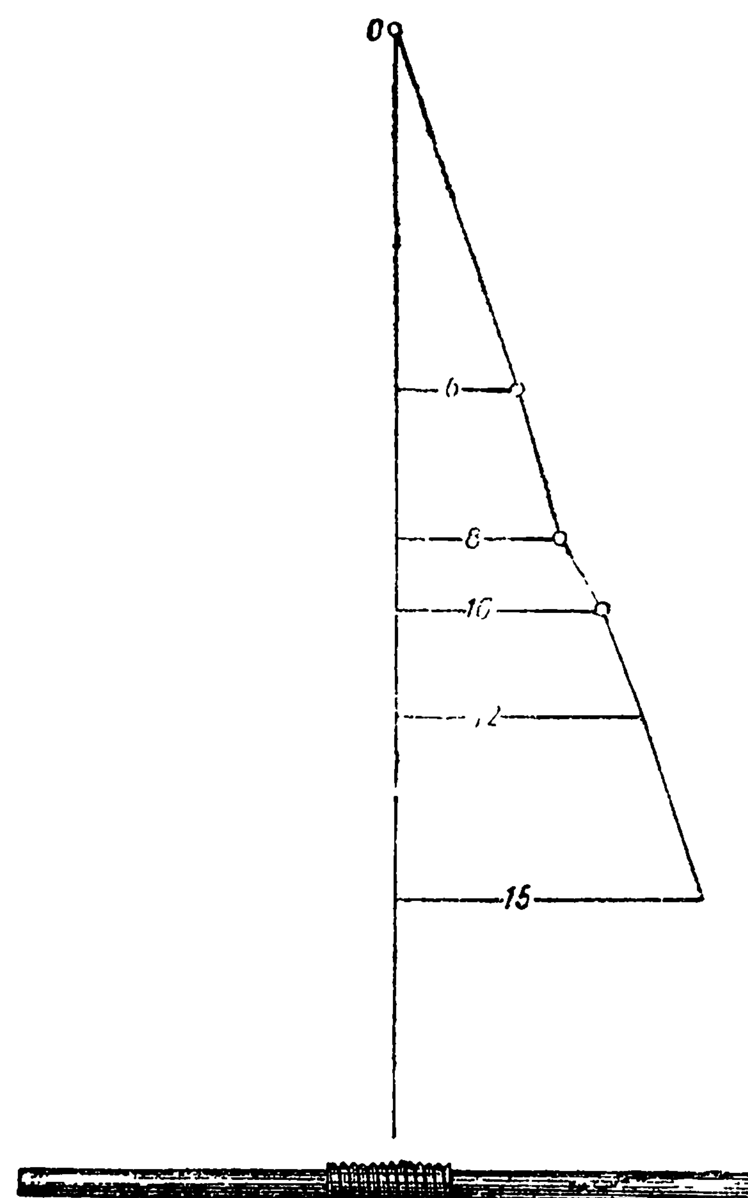
Относящаяся сюда кривая построена на фиг. 8. При этом надо заметить, что при первом наблюдении индукционная катушка находилась непосредственно поверх гальванической, и, следовательно, должна была индуцироваться также и ею. Поэтому мы поставили особый опыт без железного сердечника, при котором на мультипликаторе получилось отклонение 1°9′, что отвечает силе [тока] $\sin 34'.5 = 0.01003$. Эта сила вычтена при первом наблюдении.

44

Индукционная катушка находилась всегда в середине 3-футового железного стержня, гальваническая же спираль передвигалась. Сила тока была, как и прежде, 1000 миллиграмм. Для последнего наблюдения, при котором гальваническая катушка уже сама индуцировала индукционную, [из результата] вычитался ток = 0.01134, отвечающий отклонению в 1°18′ (табл. XXVII). Относящаяся сюда кривая вычерчена также на фиг. 9.

Таблица XXVIII

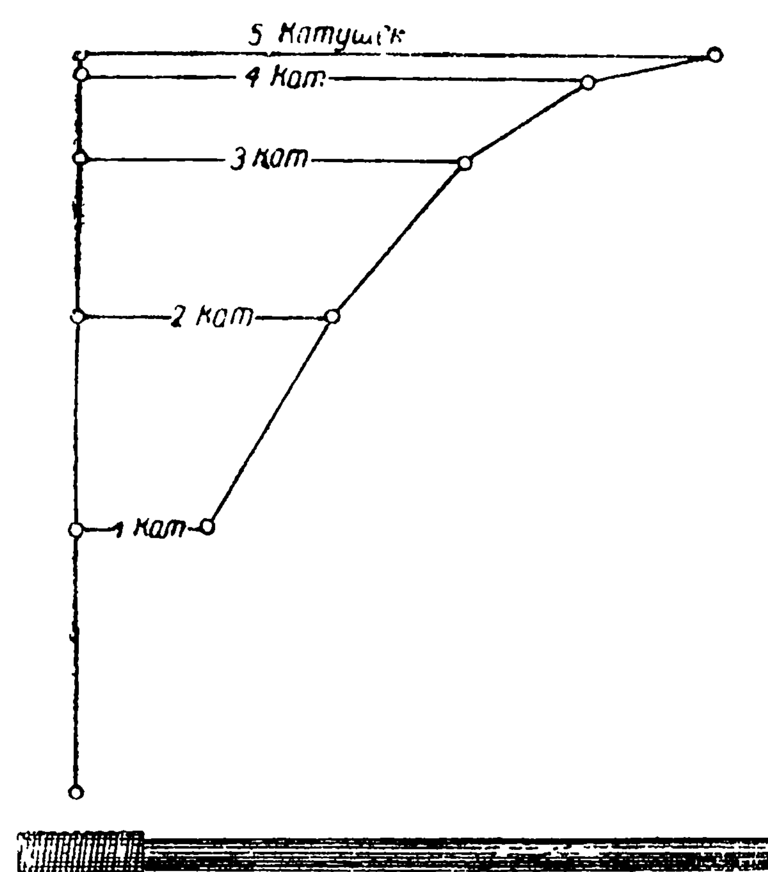
Удаление середины гальванической катушки от середины стержня, в дюймах	Сила индукционного тока
15	0.12425
12	0.21367
10	0.27081
8	0.30653
6	0.38128
0	0.56366



Фиг. 9.

45

Один конец 3-футового железного цилиндра был обмотан индукционной катушкой длиною в 6 дюймов, остальная часть его длиною в $2^1/_2$ фута — 5 гальваническими катушками длиною в 6 футов каждая, которые одна за другой приводились в соединение с батареей. Числа, стоящие в первом столбце табл. XXIX, дают число электромагнитных катушек, соответствующих каждому случаю, притом — считая от индукционной катушки. Третий столбец содержит индукционные токи, деленные на число катушек; из них, как и следовало ожидать, видно, что при таком устройстве намагничивающее действие катушек убывает с удалением катушек от конца и не компенсируется взаимным усилением, о котором упоминалось ранее. Кривая, соответствующая этим опытам, изображена на фиг. 10. Сила тока составляет 600 миллиграмм.



Фиг. 10.

Таблица XXIX

Число гальванических катушек $= n$	Сила индукционного тока $= M$	$\frac{M}{n}$
1	0.13290	13290
2	0.23980	11990
3	0.31544	10514
4	0.36285	9071
5	0.37278	4756

46

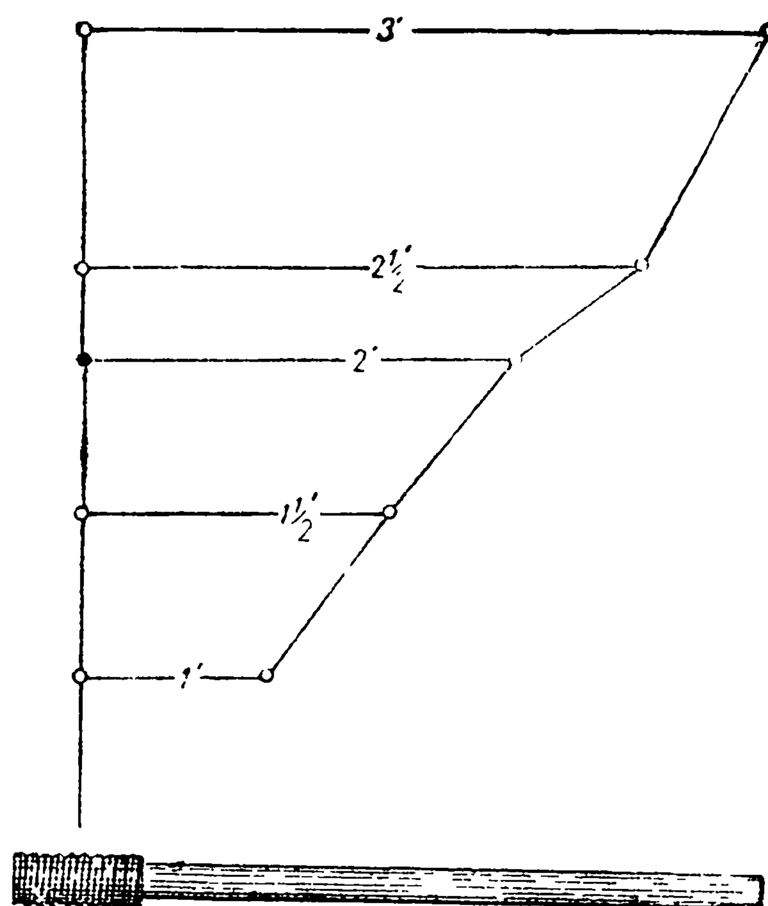
Опыты, подобные только что описанным, были проделаны далее с 6 различными железными цилиндрами длиною 1, $1^1/_2$, 2, $2^1/_2$, 3 фута, которые служили для опытов, описанных

в § 41. В каждом из этих опытов на один конец была надета, на протяжении 6 дюймов длины, индукционная катушка, на остальной же части — соответствующее число гальванических катушек табл. XXX. Числа четвертого столбца представляют силу намагниченной катушки или индукционный ток, деленный на число катушек. Относящуюся сюда кривую см. на фиг. 11.

В этих опытах сила гальванического тока, которой мы пользовались, была также 600 миллиграмм. Но так как в мультипликатор были введены некоторые изменения, то эти опыты можно сравнить с опытами табл. XXIX только через посредство наблюдений, произведенных с 3-футовым стержнем, т. е. при одинаковых условиях, или же надо умножить числа третьего или четвертого столбца на $\frac{37278}{40474}$.

Таблица XXX

Длина железных цилиндров, в футах	Число гальванических катушек $= n$	Сила индукционного тока $= M$	$\frac{M}{n}$
1	1	0.07432	7432
$1\frac{1}{2}$	2	0.15858	7929
2	3	0.23556	7852
$2\frac{1}{2}$	4	0.28522	7105
3	5	0.40474	8095



Фиг. 11.

Эти опыты одновременно являются прекрасным подтверждением следствий, выведенных нами из наблюдений, которые описаны во втором разделе, в § 30. При этих наблюдениях каждый раз обрывался якорь из мягкого железа, обмотанный индукционной катушкой и приложенный к концам железных цилиндров; измерялся индукционный ток, возбуждаемый при

исчезновении магнетизма. Здесь то же самое производится путем размыкания гальванического тока. Часть железных цилиндров в 6 дюймов длины, обмотанных индукционной катушкой, можно рассматривать как якорь, находящийся в теснейшем соприкосновении с электромагнитом, ибо он составляет с ним *одно целое*. И здесь числа столбца четвертого не обнаруживают полного согласия, но в них не сказывается и специфическое влияние длины, превышающее ошибки наблюдений, о котором мы часто упоминали; таким образом, и для этого случая силу магнетизма обусловливает не длина железных стержней как таковая, а только число электромагнитных витков катушки.

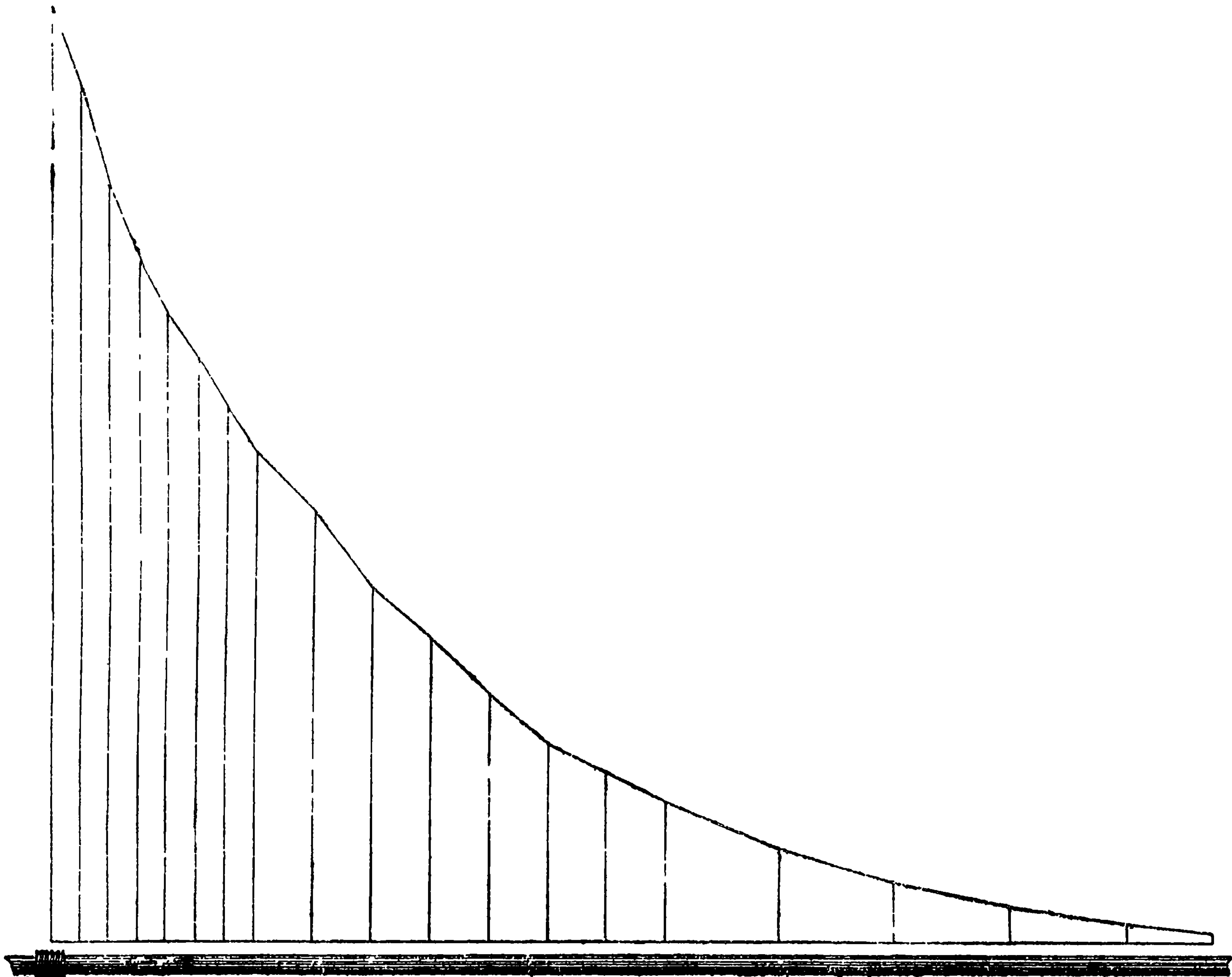
47

Следующий интересный опыт показывает, как далеко может распространяться магнетизм в мягком железе вследствие индукции. Был взят железный стержень длиною $13\frac{1}{2}$ футов

Таблица XXXI

Расстояние индукционной катушки от середины стержня, в дюймах	Сила индукционного тока	Расстояние индукционной катушки от середины стержня, в дюймах	Сила индукционного тока
0	0.88417	26	0.28798
2	0.80386	30	0.23387
4	0.70947	34	0.19016
6	0.64177	38	0.16352
8	0.59078	42	0.13161
10	0.54884	50	0.09170
12	0.50076	58	0.05756
14	0.46523	66	0.03380
18	0.40753	74	0.01701
22	0.33381	80	0.00589

и толщиною $1^1/_2$ дюйма и в его середине была укреплена гальваническая катушка длиною 2 дюйма из 105 витков. Индукционная катушка, имевшая в длину также 2 дюйма и состоявшая из 179 витков, постепенно передвигалась по дли-



Фиг. 12.

не стержня, чтобы исследовать индукцию вдоль всего стержня, который мог в известной мере рассматриваться как якорь в 6 футов 8 дюймов, приложенный к электромагниту длиной 2 дюйма. Двадцать наблюдений, произведенных с током в 800 миллиграмм, представлены в табл. XXXI и изображены графически на фиг. 12. Первый столбец содержит расстояние середины индукционной катушки от середины железного

стержня, которая совпадает с серединой гальванической катушки. Во втором столбце дана сила индукционного тока.

Графическое изображение этих результатов сразу же наводит на предположение, что кривая принадлежит к роду логарифмических линий, и, действительно, вычисление по формуле

$$\log \sin \frac{\alpha'}{2} = 9.93844 - x\ (0.01951)$$

Таблица XXXII

x	$\frac{1}{2}\alpha$	$\frac{1}{2}\alpha'$	$\Delta = \frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{2}\alpha'$
0	62° 9′	60°13′	+1°56′
2	53 30	52 30	+1
4	45 10.5	46 29	—1 18.5
6	39 55.5	41 31	—1 35.5
8	36 12.7	37 17	—1 4.25
10	33 17.2	33 38	— 20.8
12	30 3	30 25	— 22
14	27 43.5	27 34	+ 9.5
18	25 18	22 45	+2 33
22	19 30	18 51	+ 39
26	16 44.25	15 40	+1 4.2
30	13 31.5	13 2	+ 29.5
34	10 57.7	10 52	+ 5.75
38	9 24.7	9 4	+ 20.75
42	7 33.7	7 34	— 0.3
50	5 15.7	5 16	— 0.3
58	3 18	3 40	— 22
66	1 56.25	2 34	— 37.7
74	0 58.5	1 47	— 48.5
80	0 23.25	1 22	— 58.7

приводит к довольно хорошему согласию. Можно было бы добиться еще более близкого согласия, если бы вычислить постоянные по способу наименьших квадратов, а не выводить их просто из комбинации отдельных наблюдений. Но поскольку эти опыты стоят совершенно особняком, более тщательные вычисления не представили бы пока особого интереса. Первый столбец табл. XXXII заключает расстояния x катушки от середины стержня, второй — половины наблюдаемых углов $\frac{1}{2}\alpha$, третий — вычисленные углы $=\frac{1}{2}\alpha'$ и, наконец, четвертый — разности этих углов.

Последние наблюдения, уже сами по себе ненадежные вследствие малости углов, были исключены при вычислении постоянных и поэтому дают относительно наибольшие разности.

О ПРИТЯЖЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ

Б. ЯКОБИ И Э. ЛЕНЦ



В первой части нашей работы „О законах электромагнитов"* (Bulletin scientifique, №№ 94 и 95) мы пользовались для расчетов влияния силы тока на интенсивность возбуждаемого в железе магнетизма (§ 7) формулой:

$$x \sin \frac{1}{2} \alpha - y \sin \frac{1}{2} \alpha^2 = K, \tag{10}$$

где $\sin \frac{1}{2} \alpha$ пропорционально магнетизму, K — измеренная помощью весов сила тока, а x, y — постоянные, определяемые из наблюдений. Другие опыты показали, что выяснившаяся необходимость прибавки члена $y \sin \frac{1}{2} \alpha^2$, пропорционального квадрату тока, не колеблет допущения о пропорциональности между силой тока и интенсивностью магнетизма, и что эту поправку должно скорее приписать особенности электромагнитных весов. Относительно физической природы этой поправки мы высказались тогда довольно сдержанно, ограничившись общим указанием, что она объясняется временным влиянием, оказываемым на магнитные стержни со стороны электромагнитных катушек, — влиянием, подобным тому, которому, как известно, подвержено мягкое железо. Магнитные стержни находятся как раз в выгодном для этого положении, а именно — на продолжении оси этих катушек. Для нашей цели вполне безразлично, что принимать

* См. первую статью предыдущего выпуска.

для объяснения: следует ли считать, что такое временное изменение в индукции магнетизма магнитных стержней является свойством стали, присущим ей наряду с так называемой задерживающей силой, или же его следует приписать неодинаковой закалке, примешанным к стали частичкам мягкого железа и т. п. Но в отношении количественной стороны этого нового явления приходится принять, что оно подчиняется установленному в названной работе закону пропорциональности и что нужно считать, что, как и для мягкого железа, временное изменение в индукции магнетизма, вызываемого в стальных брусках* действием электромагнитных катушек, при одинаковых условиях пропорционально силе тока.

Это положение весьма важно для магнитного гальванометра и для магнитометрии, с ним нельзя не считаться и при многих других исследованиях. Но в настоящее время нас интересуют другие его следствия, имеющие непосредственное отношение к притяжению электромагнитов.

В самом деле, если мы обозначим через S силу тока в катушке весов, через M — магнетизм стального стержня, то отталкивательная сила будет пропорциональна произведению MS. Временное изменение, вызванное в стальном бруске действием катушки, будет здесь, в случае отталкивания, когда друг против друга находятся одноименные полюсы, противоположно постоянному магнетизму и может быть выражено через nS, где n зависит от взаимного расстояния и некоторых других обстоятельств. Магнетизм стального стержня будет поэтому равен $M - nS$, а отталкивание выразится через $S \cdot (M - nS) = SM - nS^2$, т. е. получается именно та формула, которую мы положили в основу упомянутых нами ранее вычислений. Ибо стоит только поставить вместо S пропорциональную ему величину $\sin\frac{1}{2}\alpha$, а вместо M и n — коэффициенты

* Стальные стержни, находящиеся у весов, тверды, как стекло, и, по-видимому, до сих пор не утратили своего магнетизма ни в малейшей степени.

x и y, тогда K представит истинную силу отталкивания, измерявшуюся весами.

Ближайшее, но практически чрезвычайно важное вытекающее отсюда следствие заключалось бы в выводе, что притяжение электромагнитов пропорционально произведению намагничивающих токов, а в случае, если токи одинаковы в обоих электромагнитах, — квадрату силы тока. Рассуждение, приводящее к этому выводу, настолько просто и настолько согласуется с тем, что было допущено и подтверждено при других сходных исследованиях, что особое его доказательство опытным путем представляется как будто излишним. Однако это важное соотношение до сих пор не было нигде высказано, и, наоборот, некоторые опыты, поставленные Фехнером, Даль Негро и одним из нас [12], повидимому, говорят за простую пропорциональность между подъемной силой и токами; это обстоятельство уже само по себе побудило бы нас к новым опытам в этом направлении, если бы даже мы не взяли за правило продвигаться в своих исследованиях вперед только посредством тщательных измерительных наблюдений, где последние только возможны, и выводить заключения помимо таковых лишь с большой осторожностью.

Мы позволим себе поэтому представить Академии в настоящей статье некоторые опыты, подтверждающие закон, что: *притяжение двух электромагнитов или электромагнита и мягкого железа пропорционально квадрату силы намагничивающих токов.*

Чтобы не терять времени на изготовление новых приборов, эти опыты были поставлены с имевшимися уже средствами, которые, правда, не могли дать самой большой степени точности, но представлялись достаточными для установления закона в общем виде. Электромагниты, которыми мы пользовались и которые состояли из прямых стержней, были вертикально укреплены под одним концом коромысла обыкновенных весов, на котором подвешивался или электромагнит, или брусок мягкого железа, в точности уравновешенный на другом конце

соответствующими гирями. Концы катушек, надевавшихся на верхний железный цилиндр, были, при опытах над притяжением 2 электромагнитов, погружены в сосуды с ртутью, и току давалось такое направление, чтобы он, пробегая обе катушки одну за другой, сообщал обращенным друг к другу полюсам разноименный магнетизм.

Сила притяжения определялась весом гирь, которые накладывались до тех пор, пока якорь не отрывался, причем от последнего наложенного веса в расчет принималась лишь половина. Во время этой операции сила тока измерялась тангенс-буссолью, построенной согласно указаниям Нервандера, и если ток был не вполне постоянен, отмечалось отклонение непосредственно перед моментом отрыва. Мы не приводим описания этой тангенс-буссоли, совершенно отличной от прежних буссолей Нервандера, потому что надеемся, что этот замечательный ученый не замедлит опубликовать подробную работу относительно этой буссоли, насколько мы знаем — уже законченную. Мы заметим только, что закон этой буссоли, согласно которому сила тока пропорциональна тангенсу угла отклонения, был неоднократно и вполне строго проверен одним из нас. Если не принимать во внимание поправок, зависящих от эксцентриситета, и других ошибок, показания прибора вплоть до углов 50—60° давали вероятную ошибку лишь от 4 до 5′, — точность, вполне достаточная для нашей цели.

В нижеследующих опытах за единицу веса взят 1 золотник, или $^1/_{96}$ русского фунта, меньшие гирьки состояли из дробинок, которых шло на фунт 950, так что они весили в среднем по 0.102 золотника. Токи различной силы получались путем изменения батареи, для которой брали большее или меньшее число элементов.

Первый ряд наблюдений

Неподвижным электромагнитом служил железный цилиндр длиной 8 дюймов и диаметром $1^1/_2$ дюйма. На коромысле весов был подвешен железный цилиндр длиной 2 дюйма и толщиной $1^1/_2$ дюйма. При этом опыте, как и в остальных, не происходило непосредственного соприкосновения железных поверхностей, так как они были разделены деревянным диском, укрепленным на конце нижнего электромагнита. Расстояние между поверхностями составляло, таким образом, около $^1/_{10}$ дюйма, и этим удалось избежать отчасти, хотя и не вполне, ошибок, которые могли произойти от их неодинакового взаимного положения. Чтобы иметь понятие о масштабе [явлений], нужно еще указать, что при непосредственном соприкосновении и при силе тока, которая измеряется на гальванометре величиной tang 18° 50′, сила притяжения составляла около $2^3/_4$ фунта. Веса G вычислены по формуле $G = 95.06\ \mathrm{tang}\,\alpha^2$, в которой коэффициент найден из наблюдений по способу наименьших квадратов.

Таблица I

α	G	$G = 95.06$ tang α^2	Δ
50°48′	159.20	160.20	—1.00
50 35	154.40	153.10	+1.30
42 26	89.10	90.34	—1.21
36 27	57.45	57.51	—0.06
33 8	44.13	33.44	+0.49
28 48	32.45	43.05	—0.60
19 6	13.32	14.03	—0.71
19 4	13.16	13.75	—0.59

Второй ряд наблюдений

Оба железных бруска имели длину 2 дюйма, толщину $1^1/_2$ дюйма, и каждый из них обмотан 108 витками тонкой проволоки в 3 последовательных слоя; ток пробегал обе катушки одну за другой.

Таблица II

α	G	$G = 64.43 \text{ tang } \alpha^2$	Δ
14°41′	4.18*	4.43	—0.25
17 58	6.49	6.77	—0.28
17 56	7.62	6.75	+0.87
17 50	7.46	6.67	+0.79
24 38	13.0	13.55	—0.55
24 38	12.97	13.55	—0.58
24 34	12.81	13.46	—0.65
25 18	13.81	14.39	—0.58
30 10	21.32	21.76	—0.44
30 2	21.60	21.53	+0.07
30 0	20.97	21.47	—0.50
34 58	32.13	31.51	+0.62
34 42	30.32	30.89	—0.57
34 34	30.00	30.58	—0.58
39 52	44.81	44.93	—0.12
39 38	43.65	44.19	—0.54
34 32	43.49	43.88	—0.39
43 22	57.13	57.48	—0.35
43 42	60.10	58.83	+1.27
44 22	62.30	61.64	+0.66

Вероятная ошибка = 0.41

По поводу предыдущей таблицы надо заметить, что наблюдения производились не совсем в том порядке, в котором они здесь расположены; затем, что при сильных токах вся проволока, а с нею и железные стержни, настолько нагревались, что нельзя было касаться их рукой продолжительное время, так как температура могла доходить до 60—70° R. Из вычислений, повидимому, вытекает, что сила притяжения оказывается еще несколько больше, чем следовало бы по закону квадратов; это, возможно, объясняется повышением температуры мягкого железа, вследствие которого оно в некоторой степени приобретает более сильный временный магнетизм. Вследствие этого первый опыт, отмеченный звездочкой, был произведен с более слабым током в конце всей серии, когда железо уже было нагрето более сильными токами. Однако мы видим, что это наблюдение не разнится существенно от других, так что влияние нагревания лежит, повидимому, в пределах ошибок наблюдений. Заметим, во избежание недоразумений, что поскольку здесь *измерялась истинная сила тока*, увеличение сопротивления проволоки, вызываемое ее нагреванием, не оказывает дальнейшего влияния.

Третий и четвертый ряды наблюдений

Оба железных стержня, обмотанные одинаковым числом витков, имеют длину $5^1/_2$ дюйма, ширину $^1/_2$ дюйма. Табл. III относится к опытам, когда были намагничены оба стержня, табл. IV — к опытам, при которых была включена в цепь катушка одного нижнего стержня, причем, следовательно, стержень, прикрепленный к коромыслу весов, служил якорем. Было устроено и приспособление для измерения отталкивающей силы, однако оно оказалось неудовлетворительным, так что эти опыты пока пришлось оставить.

Во всех этих опытах вероятная ошибка держится в пределах, не превышающих предполагаемых ошибок наблюдений;

Таблица III

α	G	G = 84.03 tang α²	Δ
14°10′	4.81	5.35	—0.54
14 16	4.97	5.43	—0.46
14 22	4.97	5.55	—0.58
26 2	19.16	20.05	—0.89
26 2	19.30	20.05	—0.75
26 12	19.65	20.35	—0.70
32 12	32.75	33.32	—0.57
33 4	35.08	35.62	—0.54
33 38	36.62	37.19	—0.57
35 2	40.97	41.30	—0.33
35 8	40.97	41.61	—0.64
43 52	78.30	77.63	+0.67
43 54	79.94	77.82	+1.12
43 58	77.65	78.18	—0.53
50 6	119.75	120.20	—0.45
50 12	122.05	121.05	+1.00
50 16	121.56	121.62	—0.06

Вероятная ошибка = 0.46

при последних имеют место многочисленные случайные источники ошибок, совершенно не поддающихся учету. Это еще яснее проявляется в том обстоятельстве, что здесь совершенно нельзя обнаружить *правильного* возрастания ошибок в ту или другую сторону; правда, в последних наблюдениях с более сильными токами нельзя не заметить некоторой тенденции к положительным разностям между наблюдением и вычисленными значениями, — тенденции, указывающей на несколько более сильное возрастание притяжения, чем в отношении квадрата [силы] тока.

Таблица IV

α	G	$G = 20.26$ tang α^2	Δ
15°52′	1.46	1.64	—0.18
15 54	1.46	1.64	—0.18
16 2	1.46	1.67	—0.21
28 47	5.65	6.11	—0.46
28 52	5.65	6.16	—0.51
29 2	5.81	6.24	—0.43
37 36	11.32	12.01	—0.69
37 42	11.49	12.10	—0.61
37 50	11.49	12.22	—0.73
46 32	21.32	22.55	—1.52
46 37	21.16	22.68	—1.23
46 42	21.65	22.81	—1.16
52 28	32.97	34.32	—1.35
52 32	33.32	34.49	—1.17
52 44	33.81	34.99	—1.18
55 10	42.30	41.83	—0.47
55 17	42.62	42.20	—0.42
55 30	42.97	42.89	—0.08
58 32	53.27	54.08	—0.81
58 46	55.30	55.08	—0.22
59 10	57.32	56.85	—0.47
60 4	62.62	61.10	—1.52
60 30	63.49	63.28	—0.21
60 58	67.46	65.75	—1.71

Вероятная ошибка = 0.6

Таким образом, нашими опытами определенно доказано, что *притяжение двух прямолинейных электромагнитов или*

электромагнита и якоря пропорционально квадрату намагничивающего тока; при этом мы делаем то ограничение (по крайней мере предварительно), что магниты не должны соприкасаться, а должны отстоять друг от друга примерно на расстоянии 1 линии. Именно так и обстояло дело в наших предшествующих опытах с электрическими весами, при которых нужно было ввести поправку, пропорциональную квадрату силы тока; ***настоящими опытами эта поправка и оправдывается.*** Те же обстоятельства имеют место и для электрических машин, поскольку и там электромагниты расположены в некотором расстоянии друг от друга. Отсюда можно видеть, какое огромное значение приобретает здесь установленный нами закон.

Интересно сравнить силу притяжения 2 электромагнитов одинаковой мощности с той силой, которая имеет место тогда, когда из 2 объектов только один — электромагнитный, а другой действует, как мягкое железо, т. е. приобретает магнетизм лишь вследствие индукции частиц. Для этого могут служить опыты табл. III и IV, где в IV один железный брусок не был намагничен, тогда как в III оба бруска были одинаково намагничены. А именно, мы получили:

из ряда III притяжение $G = 84.03 \tan \alpha$,
„ „ IV „ $G = 20.26 \tan \alpha$.

Следовательно, при одинаковом угле отклонение α, т. е. при равных намагничивающих токах, притяжение 2 электромагнитов примерно вчетверо больше, чем между электромагнитом и железом. Пока мы воздерживаемся от каких-либо выводов из этого обстоятельства.

Было вполне естественно, что мы проверили данный только что закон о пропорциональности квадрату силы тока и для силы притяжения магнитных стержней, имеющих подковообразную форму, т. е. таких, которые работают обоими полюсами; это было тем более интересно, что именно так были постав-

лены упомянутые выше опыты Фехнера и др., которые дали результаты, совершенно отличные от вышеуказанных. Но мы считаем нужным прежде всего заметить, что в силу условий, в которых производились эти опыты, они не могут претендовать на особую убедительность: дело в том, что у всех трех ток, пробегавший по катушкам, не подвергался действительным измерениям, а или вычислялся по другим элементам, или наблюдался лишь в боковом ответвлении, сопротивление которого, вследствие нагревания проводов, не оставалось постоянным. Однако разница в пропорциональности или первой степени силы тока, или ее квадрату, настолько значительна, что должна была бы обнаружиться даже и в этих опытах. Было поэтому необходимо подвергнуть этот вопрос повторному испытанию; это облегчалось тем, что один из нас заказал еще раньше очень тщательно конструированный одноплечий рычаг для отрывания якоря. Описание этого прибора будет дано в другой раз; здесь упомянем только, что особое внимание было обращено в нем на то, чтобы обеспечить возможно равномерное прилегание якоря к подкове. Как якорь, так и подкова имели одинаковую форму, и оба были обмотаны одинаковым, равным 228, числом витков проволоки толщиной $^3/_4$ линии. При соединении этой проволоки с батареей, вышеупомянутая тангенс-буссоль всегда была включена в цепь.

Все меры предосторожности предназначались лишь для того, чтобы опыты, поставленные с одинаковыми токами, могли дать более или менее согласующиеся друг с другом результаты; к *ожидаемому* результату они не привели, и выяснилось лишь, что при сильном намагничении подъемная сила — мы не говорим: *закон притяжения* — 2 электромагнитов или подковообразного магнита и его якоря оказывается слишком сложным явлением, чтобы его можно было выразить таким простым законом, как простая или квадратичная пропорциональности. Здесь очень важно уже то, что обе ветви поднятой подковы или якоря никогда не отрываются в один и тот же момент, и это выражается тем резче, чем сильнее ток, а с ним и при-

тяжение. Мы приводим ниже наблюдения в том виде, как они были нами произведены, пока лишь в виде материала для использования в дальнейшем.

Таблица V

Обе подковы были намагничены, и их конечные плоскости соприкасались непосредственно

№ опыта	Отклонение мультипликатора α	Подъемная сила G, в фунтах	Среднее значение $10000 \tan \alpha$	Среднее значение G	Примечание
1	39°30′	312	8243	303	
	39 40	302			
	39 20	294			
2	17 38	215	3178	215	
	17 38	216			
	17 38	214			
3	18 36	299	3297	288	Эти опыты несравнимы с предшествующими, так как катушки мультипликатора (тангенс-буссоли) были более удалены от стрелки.
	18 22	290			
	18 6	287			
	17 56	285			
4	9 14	209	1569	209	
	8 56	211			
	8 50	212			
	8 42	206			

При опытах 1 и 2 отношение токов было $=2.6$, отношение подъемных сил $=1.4$. При опытах 3 и 4 отношение токов было $=2.1$, отношение подъемных сил $=1.3$. Таким образом, в обоих случаях отношение подъемных сил было значительно

меньше, чем это требуется при пропорциональности первой степени тока, хотя при других условиях нами было найдено, что оно пропорционально квадрату [силы] токов.

Таблица VI

Неподвижный подковообразный магнит был намагничен, подвижный же служил только якорем; концевые стороны соприкасались непосредственно

№ опыта	α	G	Среднее значение 10000 tang α	Среднее значение G	Примечание
1	45°54′	253	10 206	257	
	45 32	258			
	45 12	260			
2	23 0	174	4 213	216	
	22 50	170			
	22 42	175			
3	20 16	214	3 613	216	Эти наблюдения также несравнимы с предшествующими.
	20 00	219			
	19 42	222			
	19 30	211			
4	9 34	147	1 683	143	
	9 32	144			
	9 4	142			
	8 54	141			

Из 1 и 2 получим отношение токов $=2.4$, подъемных сил $=1.5$. Из 3 и 4 получаем отношение токов $=2.2$, подъемных сил $=1.5$. И в этом случае отношение подъемных сил значительно меньше, чем отношение токов, примерно во столько же раз, как и в предыдущем случае.

Необычайно малая величина подъемных сил в сравнении с токами заставила нас произвести еще одну проверку: не явилось ли причиной такого результата, столь сильно отличающегося от полученных нами ранее, какое-либо не замеченное нами обстоятельство в конструкции отрывающего рычага. Для этой цели подковообразный электромагнит был укреплен обеими ветвями вертикально кверху, и, после намагничения его гальваническим током, якорь отрывался одновременно с введенным между ними особым динамометром Ренье, сконструированным по указаниям Мунке. Ток измерялся тангенс-буссолью. В табл. VII приведены данные опытов с *плоским* прямым якорем; здесь α — отклонение мультипликатора, а G — подъемная сила в фунтах.

Таблица VII

α	G, в фунтах
26°36′	115
29 16	116
29 36	132.5
30 34	71.5
30 40	92
30 40	80

Как видно из этих чисел, подъемные силы при почти одинаковых токах настолько различны, что с очевидностью выявляется большое влияние способа наложения якоря: в этих опытах оно производилось наглаз, а не в точности одним и тем же образом, как в случае отрывающего рычага. Не надеясь получить сколько-нибудь надежные результаты с этим якорем, мы заменили его закругленным, который соприкасался с полюсами электромагнита лишь по некоторой прямой. Как показывает табл. VIII, результаты, полученные таким путем, при прочих равных условиях, дают значительно большее согласие друг с другом, чем предшествующие.

Из табл. VIII следует, для отдельных опытов:

1 и 2	соотношение	токов	= 1.39;	подъемных сил	= 1.27
2 „ 3	„	„	= 1.27;	„ „	= 1.46
3 „ 4	„	„	= 1.49;	„ „	= 1.55
4 „ 5	„	„	= 1.94;	„ „	= 2.31
5 „ 6	„	„	= 5.13;	„ „	= 6.75

Таблица VIII

№ опыта	Отклонения α	G, в фунтах	Среднее значение 10000 tang α	Среднее значение G
1	39°16′	167	8336	167.3
	39 52	165		
	40 36	170		
2	31 6	132	6020	131.2
	30 56	127		
	31 6	135		
3	25 16	86	4738	89.0
	25 24	92		
	25 24	89		
4	17 36	60	3169	57.3
	17 36	55		
	17 32	57		
5	9 16	25	1632	24.8
	9 16	24		
	9 16	25		

В общем, подъемные силы возрастают в более значительной степени, чем токи, но все же никаким образом не пропорционально их квадратам. Отношение становится тем выгоднее, чем меньше сила, необходимая для отрыва, так что здесь дело идет скорее не об относительных подъемных силах, а об абсолютных, почему опыты табл. VIII и дают лучшие результаты, чем опыты табл. VI.

Поскольку опыты с динамометром ясно показали, что аномалии результатов зависели не от конструкции отрывающего рычага, а лежат, повидимому, в самой природе отрыва, мы

произвели нижеследующие опыты вновь с этим рычагом, притом так, что 2 электромагнитные подковы уже не соприкасались непосредственно, а удерживались на расстоянии $^1/_{10}$ дюйма

Таблица IX

Только неподвижная подкова намагничена, подвижная служит якорем

№ опыта	α	G	Среднее значение 10 000 tang α	Среднее значение G	Отношение токов	Отношение подъемных сил	Отношение квадратов токов
1	8°36′	6.0	1507	6.0			
	8 34	6.2					
	8 34	5.8					
	8 34	6.2			1.80	3.15	3.25
2	15 16	19.4	2717	18.9			
	15 14	18.9					
	15 12	18.5					
	15 7	18.9			1.31	1.70	1.71
3	19 46	33.0	3554	32.2			
	19 40	32.4					
	19 30	31.6					
	19 32	32.0			1.04	1.03	1.04
4	20 8	33.6	3711	33.0			
	20 0	33.0					
	19 54	33.0					
	19 44	32.4			1.14	1.28	1.38
5	23 8	43.0	4258	42.3			
	23 4	43.0					
	23 2	42.4					
	23 0	41.0					

Таблица X

№ опыта	α	G	Среднее значение 10 000 tang α	Среднее значение G	Отношение		
					токов	подъемных сил	квадратов токов
1	6°26′	13.3	1131	13.2			
	6 28	13.2					
	6 28	13.2					
	6 28	13.2			1.86	3.18	3.44
2	12 0	44.0	2098	42.0			
	11 52	42.0					
	11 48	41.0					
	11 44	41.0			1.35	1.56	1.82
3	16 0	69.0	2833	65.4			
	15 50	66.2					
	15 46	66.4					
	15 42	60.0			1.08	1.11	1.16
4	16 46	74.0	3051	72.6			
	17 7	72.4					
	17 3	72.5					
	16 55	71.6			1.05	1.09	1.10
5	17 49	80.4	3204	78.8			
	17 55	77.4					
	17 46	80.9					
	17 32	76.5			1.18	1.17	1.39
6	20 40	91.9	3779	92.1			
	20 48	91.7					
	20 44	91.2					
	20 36	91.6					

помощью введенных между ними пластинок. Три последних столбца в следующих сериях опытов содержат отношения токов, отношения подъемных сил и отношения квадратов токов, как они получаются из двух опытов следующих друг за другом попарно.

Здесь отношение более слабых подъемных сил подходит довольно близко к отношению квадратов токов, и даже для небольших весов в опытах 3, 4 и 5 оно еще значительно превосходит простую пропорциональность; это уже в меньшей степени относится к следующей серии опытов, где при нагрузке 92 фунта и 79 фунтов отношение токов даже больше, чем отношение этих весов.

Хотя из последних опытов с подковообразными стержнями нельзя вывести каких-либо определенных заключений, однако они все же могут служить в качестве подтверждения если не выводов, сделанных упомянутыми физиками из своих опытов, то, по крайней мере, самых опытов. Что силы притяжения относятся, как произведения интенсивностей магнетизма, — это вполне общий закон, который кладется в основу всех исследований магнитных интенсивностей. Наши опыты, табл. I—IV, дали полное подтверждение этого закона для частного случая, когда магнетизм возбуждается электрическими токами. То, что при притяжении подковообразных магнитов встречаются некоторые аномалии, не противоречит этому закону как таковому, и нам кажется пока не столь необходимым исследовать подробнее, чем могут вызываться эти аномалии. Однако до полного выяснения этого вопроса следует воздерживаться от применения таких подковообразных железных стержней для измерений и не следует делать заключений об интенсивности магнетизма по их подъемной силе, или, обратно, об их подъемной силе по интенсивности магнетизма.

О ЗАКОНАХ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕПЛА ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ ТОКОМ



Доложено 2 декабря 1842 г. [1]

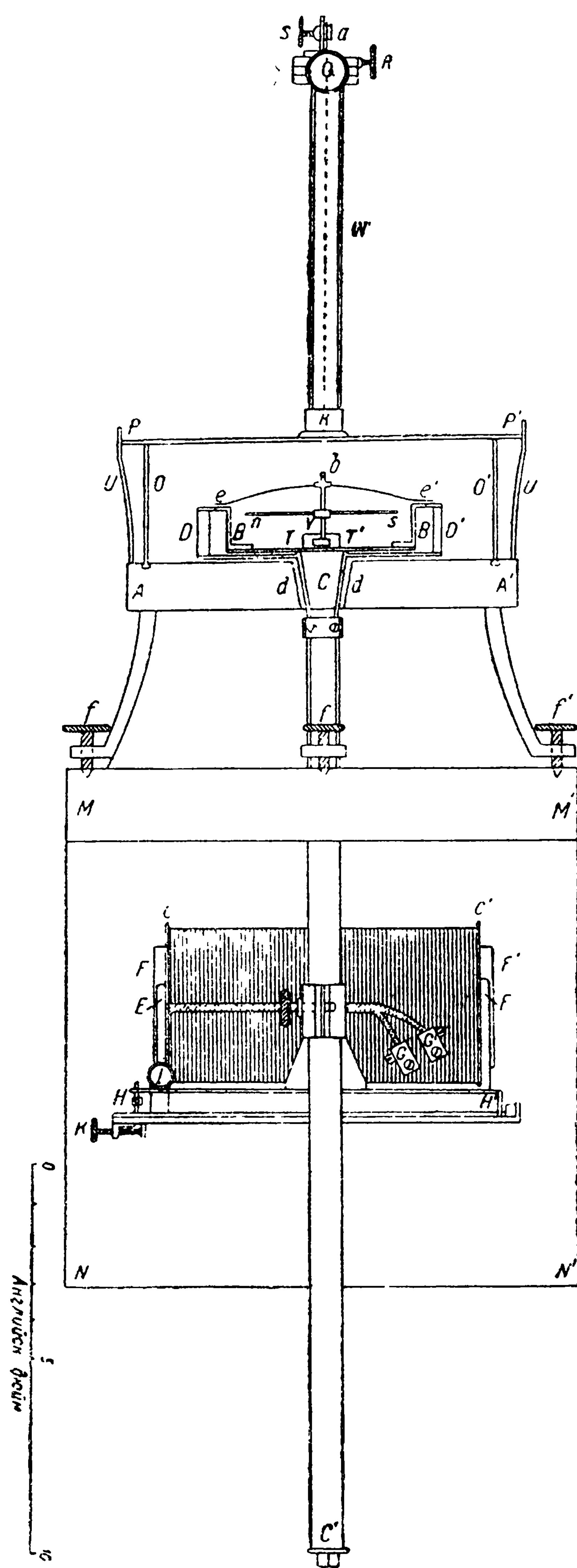
1

Исследования, которые я собираюсь доложить Академии, занимают меня уже в течение нескольких лет; они были начаты задолго до появления сообщения Джула [2] (в „Philosoph. Magazine“ в октябре 1841), и я полагал, что их следует продолжать, несмотря на то, что мои результаты в основном совпадают с результатами Джула, так как опыты последнего могут встретить некоторые обоснованные возражения, как это было уже показано нашим коллегой, г-ном акад. Гессом.

Так как доверие, на которое я надеюсь по отношению к моим опытам, основывается на точной проверке измерительных приборов, которыми я пользовался, то я прежде всего начну с подробного их описания и проверки.

Для измерения силы тока я пользовался так называемой тангенс-буссолью, т. е. мультипликатором, в котором силы тока измеряются тангенсами углов отклонения; конструкция их основывается на теории, сообщенной мне, пока только частным образом, г-ном проф. Нервандером [4]; я ограничусь здесь описанием прибора, который я велел построить здесь, следуя этой теории, и приведу только экспериментальные доказательства его пригодности, представляя изложение теории ее автору.

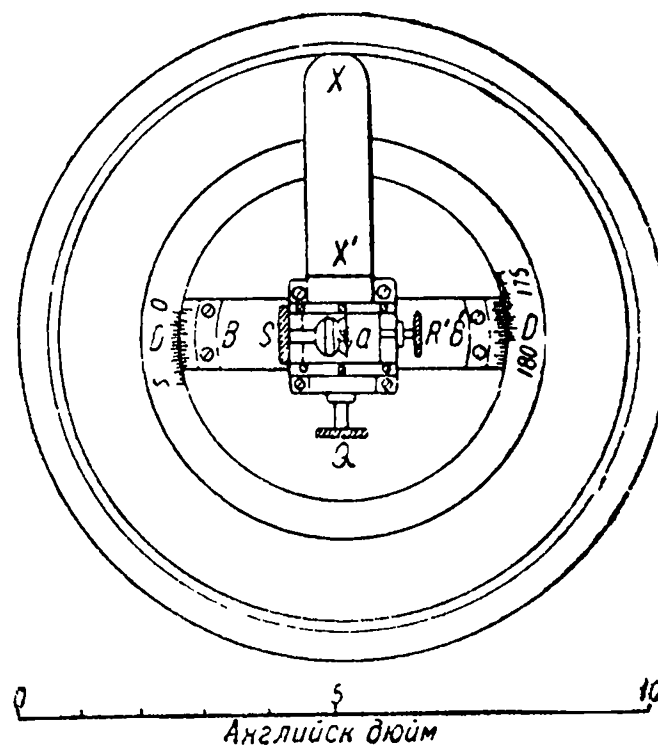
На солидной доске $MM'NN'$ (фиг. 1) сделана под прямым углом насадка, которая с ее помощью надежно прикреплена к стене; на ней стоит на трех ножках с винтами f, f' и f'' доска AA' с широким отверстием посередине, служащая для



Фиг. 1.

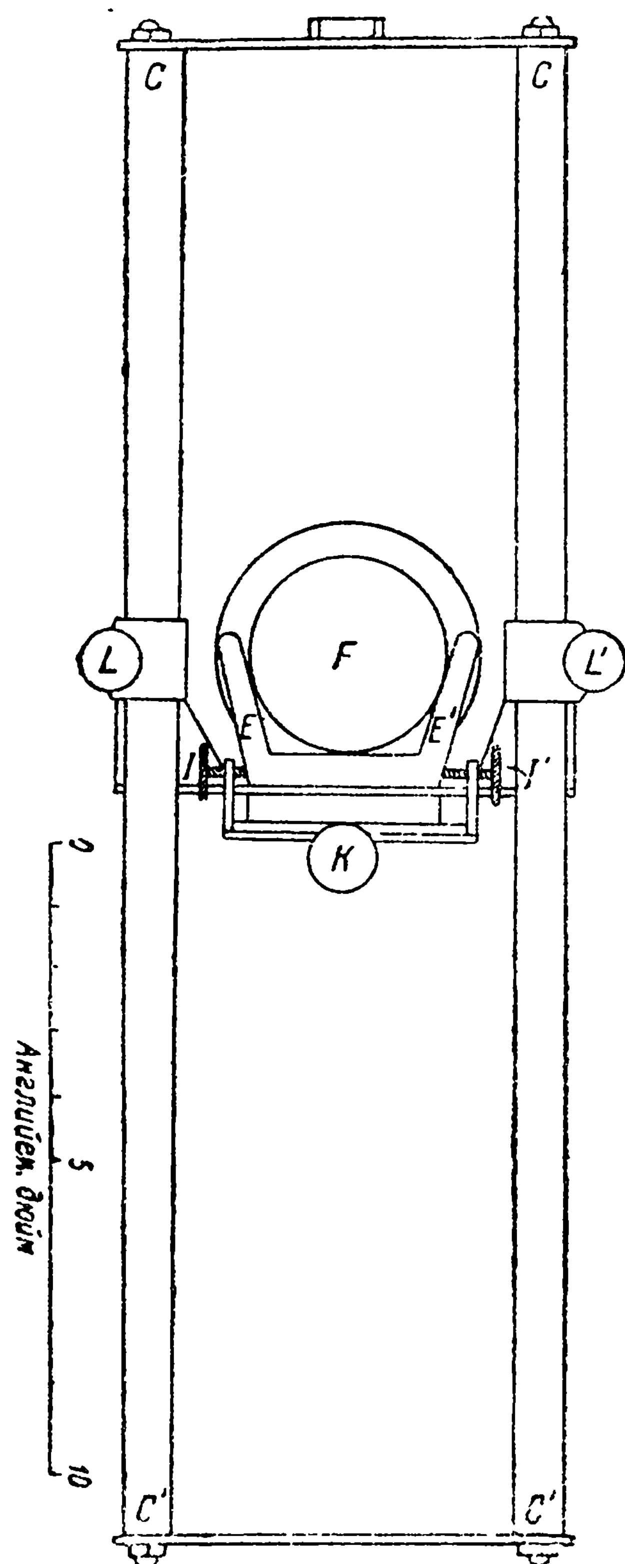
установки на ней всего прибора. В середине в соответственном вырезе укреплена при помощи деревянных винтов полая коническая втулка dd', а вместе с ней — выточенный по ней плоский цилиндрический открытый сверху латунный сосуд DD', на верхнем краю которого, обточенном горизонтально, сделаны деления через каждые 20′. В полой втулке ходит коническая ось C и с ней обточенная на ней алидада BB', у которой на обоих верхних плоских краях, находящихся в одной плоскости с разделенным кругом, нанесены нониусы; посредством последних деления неподвижного круга делятся на 20 равных частей, т. е. положение алидады может быть отсчитано с точностью до 1′. Это лучше видно на фиг. 2, которая дает вид сверху; одинаковые части, изображенные на этом и на первом рисунке, обозначены одними и теми же буквами. На краю доски AA', обращенном к стене, привинчен вер-

тикальный цилиндрический латунный стержень, несущий в верхней части горизонтальное плечо XX' (фиг. 2), на конце которого имеется приспособление для укрепления коконовой нити; нижний конец этой нити несет в точке b (фиг. 1) на небольшом крючке магнитную стрелку ns и над ней указатель ee', который ходит над лимбом делений и указывает положение стрелки; стрелка и указатель укреплены на одной и той же вертикальной латунной проволоке так, что не могут смещаться друг относительно друга. Коконовая нить наверху укреплена на ролике a, посредством которого ее можно опускать и поднимать, но затем прилегает к прорези отверстия в верхней пластинке, так что при поднимании и опускании нити эта точка подвеса остается в точности постоянной. Ее можно, однако, перемещать вместе с несущей ее пластинкой на 2 салазках с помощью микрометренных винтов Q и R, расположенных перпендикулярно друг к другу, что создает возможность приводить, при помощи описываемого ниже метода, в центр разделенного круга нить и ось вращения магнитной стрелки и указателя. Для защиты стрелки от потоков воздуха, а круг от запыления, они сначала помещаются в стеклянном кольце OO', которое вставляется в круглый жолоб в доске AA'. Его верхний край отшлифован в горизонтальной плоскости; на верхний отшлифованный край кладется состоящая из 2 половинок круглая пластинка зеркального стекла PP'; 4 медных пружины UU прижимают друг к другу две ее части. В середине стеклянного диска PP' вырезано круглое отверстие (в каждой половине по полукругу), через которое проходит коконовая нить Qb. Нить заключена в стеклянную трубку, имеющую в нижнем конце передвигающуюся деревянную



Фиг. 2.

цилиндрическую втулку; нижний, отшлифованный, как диск, край этой втулки при опускании ложится плоскостью на стеклянный диск; таким образом, и здесь отверстие для нити оказывается совершенно закрытым.



Фиг. 3.

На продолжении конической оси C привинчен прибор CC'; ось проходит через отверстие в доске MM'; сечения прибора в 2 перпендикулярных друг другу [вертикальных] плоскостях изображены на фиг. 1 и 3; и здесь одни и те же части обозначены одинаковыми буквами. Непосредственно под коротким продолжением конической оси алидады расположена горизонтальная перекладина CC, несущая 2 цилиндрических штанги CC' (фиг. 3), состоящие из 2 тянутых латунных трубок; внизу они соединены подобной же перекладиной $C'C'$ и таким путем образуют вертикальную прямоугольную рамку.

Находящуюся между стержнями часть прибора можно при помощи втулок и зажимных винтов LL' передвигать вниз и вверх и закреплять. Эта часть состоит из горизонтальной латунной пластинки, имеющей на концах 2 вилкообразных латунных цапфы EE', в которые может быть неподвижно положен полый латунный цилиндр FF'. Этот латунный цилиндр закрыт с обоих концов и обточен по всей своей длине вокруг 2 центров, один из которых виден при F (фиг. 3). Концевые части, лежащие в вилках, отделены от прочих частей цилиндра закраинами, которые на фиг. 1 обозначены cc'; поверхность

цилиндра между c и c' обернута двойной катушкой из медной проволоки толщиною $^3/_4$ англ. дюйма [5], тщательно оплетенной бумажной пряжей; катушка идет сначала от одного конца к другому, а затем, во втором слое, в обратном направлении. Концы проволоки, выходящие таким образом с одного конца катушки, скручены в шнур и доведены до середины катушки, где они подведены к клеммам G и G'. Микрометренный винт K позволяет сообщать катушке движение в направлении ее оси; винт H и пружина H' позволяют поднимать или опускать один конец катушки относительно другого; наконец, боковые винты I и I' двигают катушку горизонтально и перпендикулярно направлению оси. Таким образом, мы имеем механические средства, чтобы установить ось катушки горизонтально и привести ее середину точно под центр разделенного круга или в продолжение оси вращения магнитной стрелки. Тогда вращением алидады ось катушки устанавливается в любом азимуте.

Наконец, я должен упомянуть еще об одном приспособлении, которое я применяю для того, чтобы по возможности укоротить колебания стрелки, не уменьшая точности установки; впервые я видел этот прием у барона Шиллинга [6] при его опытах с гальванической телеграфией. Суть приема заключается в том, что латунный штифт, несущий магнитную стрелку ns, равно как и указатели ee', продолжается вниз в платиновое острие Y и кончается платиновым крылом, т. е. вертикальной пластинкой из платиновой жести, как показано на рисунке. Эта пластинка висит в плоском цилиндрическом стеклянном сосуде TT', заполненном чистым деревянным маслом; сопротивление масла по отношению к крылу, поворачивающемуся вместе со стрелкой, настолько хорошо тормозит колебания стрелки, что в моем приборе стрелка полностью успокаивалась через 8 колебаний, продолжающихся 36 секунд. Многочисленные опыты вполне убедили меня при этом, что если заметить положение стрелки в состоянии покоя и затем отклонить стрелку приближением магнита, то она всегда возвращается в точности в старое положение покоя, так что масло ни в какой мере не

вредит точности установки. Даже когда я в другом случае и с другим прибором, в котором я мог отсчитывать положение стрелки с точностью до $^1/_4{}'$, увеличивал сопротивление при помощи крыла больших размеров в такой степени, что стрелка полностью успокаивалась через 4 колебания, установка продолжала быть совершенно точной. Кому приходилось иметь много дела с отсчетами по мультипликатору, тот оценит большое значение такого успокоителя при полной надежности установки [7]. Масло постепенно густеет, и поэтому сопротивление колебаниям возрастает, тем не менее еще через год масло в моем приборе оказывалось вполне пригодным; оно не должно только приходить в соприкосновение с латунью, так как зеленая окись меди его постепенно загрязняет.

Катушка у меня отстояла от магнитной стрелки на $12^3/_4$ дюйма; если ось катушки расположить перпендикулярно меридиану и затем пропустить через нее ток, то можно себе представить ее действие на магнитную стрелку как действие магнита, расположенного перпендикулярно магнитной стрелке, и стрелка отклонится.

В моем приборе токи, соответствующие отклонениям, пропорциональны тангенсам отклонений, если стрелка и катушка центрированы надлежащим образом.

Для выполнения этой центрировки я поступал следующим образом: перед подвешиванием магнитной стрелки, при удаленном сосуде с маслом, на алидаду ставится уровень; вращая алидаду, ось вращения можно установить, обычным способом, в вертикальном положении при помощи установочных винтов f, f' и f''; тогда круг и нониусы оказываются горизонтальными, потому что они обточены по этой оси. После этого уровень снимается, сосуд с маслом ставится на свое место и подвешивается стрелка.

Сначала центрировалась ось катушки, или линия, которую можно мысленно провести через видные центры вращения F, F'; это значит, что она располагалась *горизонтально* и что перпендикуляр, опущенный из центра круга, проходил через нее

и делил ее при этом *пополам*. Чтобы удовлетворить этим трем условиям, на точку F направлялось перекрестие нитей (одна нить горизонтально, а другая вертикально) хорошей зрительной трубы, которая стояла в точке, лежащей приблизительно на продолжении оси; при этом точка F должна была находиться у пересечения нитей на горизонтальной нити. При повороте алидады на 180° на горизонтальной нити должна была оказаться другая точка вращения, F', лежащая с другого конца латунного цилиндра; если это не имело места, то один конец оси поднимался или опускался, смотря по надобности, при помощи винта H, при одновременном поднимании или опускании трубы. Так поступали до тех пор, пока точки F и F' при повороте на 180° не оказывались точно на одной высоте; тогда ось была горизонтальна.

Вторая поправка заключалась в приведении F и F' на вертикальную нить перекрестия, при помощи винтов I и I'; когда при повороте на 180° обе точки, F и F', оказывались на вертикальной нити, это означало, что ось проходила через центр вращения.

Наконец, чтобы перпендикуляр, опущенный из центра круга, делил ось катушки пополам, катушка располагалась приблизительно перпендикулярно к оптической оси зрительной трубы, последняя же устанавливалась так, чтобы ее вертикальная нить совпадала с наружным резким краем F цилиндра; затем катушка поворачивалась на 180°, а винтом K добивалась того, чтобы в обоих положениях края F и F' совпадали с вертикальной нитью трубы.

Таким образом, катушка была центрирована по отношению к оси вращения алидады; теперь то же самое следовало проделать с осями вращения стрелки и указателя. Эта установка производилась путем одновременного наблюдения отклонений обоих концов магнитной стрелки при пропускании тока через катушку; стрелка могла отклоняться как в ту, так и в другую сторону от положения равновесия. Подвес нити при помощи винтов Q и R перемещался так, что в результате показания

при любом отклонении концов указателя были в точности одинаковы в обоих направлениях. Когда этого достигли, то достаточно было наблюдать отклонение одного конца стрелки. Наблюдения производились с лупой, которая лежала на верхней стеклянной пластинке PP'; для уменьшения параллакса глаз фиксировался таким образом, чтобы горизонтальная часть указателя покрывала собой вертикальную проволоку, на которой укреплены указатель и стрелка; кроме того, указатель возможно ближе подвигался к кругу (приблизительно, на 0.2 дюйма); задевание указателя не могло иметь места, так как плоскость круга была точно горизонтальна. Так как деления круга составляли $20'$ и каждое деление можно было мысленно разделить на 10 частей, то точность отсчета равнялась $2'$.

Можно еще поставить вопрос, не влияет ли на результаты кручение подвеса; но в моей нити это влияние оказалось равным нулю, что лучше всего будет видно из поправочных опытов.

Прежде чем предпринимать опыты измерения токов, нужно было установить ось катушки перпендикулярно меридиану. Для этого через катушку пропускался сильный ток, который отклонял стрелку более чем на 60°, и катушка поворачивалась до тех пор, пока стрелка совершенно переставала отклоняться, что можно установить с большою точностью; то же производилось при обратном направлении тока при повороте катушки в другую сторону. В моем приборе при хорошей центрировке эти два положения отстояли друг от друга точно на 180°; если алидада устанавливалась на 90° от этого положения, то ось катушки оказывалась расположенной перпендикулярно к меридиану, а ее витки были параллельны меридиану. Такое положение токов обозначалось в журнале наблюдений как *нормальное положение катушки*; каждое наблюдение начиналось с установки в это нормальное положение.

Так как при наблюдении отклонений представляется удобным, чтобы *нормальное положение стрелки* в меридиане было помечено нулем, то я позднее сделал в моем приборе так,

чтобы разделенный круг с конической втулкой мог вращаться во второй такой же втулке; горизонтальная перекладина охватывала ось круга под доской AA' так, что конец оси — с ним, следовательно, и круг — можно было перемещать с помощью микрометренного винта на несколько градусов. Таким образом, я всегда мог перед началом наблюдений приводить нуль делений под наблюдаемый конец указателя. Так как вместе с кругом вращаются также и алидада и катушка, то таким путем достигается еще одно немаловажное преимущество: именно, когда токи имеют *нормальное* положение, то, даже если стрелка при смещении магнитного меридиана меняет свое положение, катушка все же может быть возвращена в нормальное положение перпендикулярно меридиану, так как ее положение относительно наблюденного конца указателя, при установке последнего на нуль, неизбежно должно оставаться неизменным. Наконец, я добавлю, что моя буссоль находится под ключом в стеклянном шкафу, который при наблюдении может быть откинут, причем прибор оказывается совершенно свободным. Установка прибора требует слишком много времени, чтобы доверять его установочные винты неспециалисту.

Кроме этого мультипликатора, я пользовался во всех моих опытах вольтагометром, или агометром г-на Якоби, в том виде, как он описан в „Bulletin scientifique" (t. X, стр. 285), и притом в 2 экземплярах, один из которых принадлежит Академии, а другой — здешнему университету; я их буду обозначать А и В. Этот прибор чрезвычайно важен для измерительных гальванических опытов; всякий, кто им пользуется, будет благодарен изобретателю этого пособия для гальванометрии. Проволока моего агометра нейзильберовая; латунная проволока не годится, так как она на воздухе и при нагревании током покрывается побежалостью, вследствие чего ухудшается металлический контакт ролика. Один оборот моего агометра А будет в дальнейшем все время служить единицей сопротивления. На этом приборе сопротивления отдельных витков оказались в точности одинаковыми. Так как термины „вольтагометр"

и „вольтаметр“ легко могут быть смешаны, а термин „агометр“ — короче, я буду все время пользоваться именно этим термином, уже предложенным г-ном Якоби.

2

Напомню еще в нескольких словах большое преимущество мультипликатора перед другими гальваническими измерительными приборами, например, перед беккерелевскими весами. Когда стрелка, отклоненная гальваническим током, успокаивается при известном угле отклонения, то на стрелку действуют 2 силы, находящиеся в равновесии: момент вращения, вызываемый током, и момент вращения, создаваемый земным магнетизмом. В оба эти момента входит как фактор сила собственного магнетизма стрелки, так что при составлении уравнения между моментами вращения этот собственный магнетизм стрелки пропадает из уравнения точно так же, как это имеет место при отклонении гауссовского магнетометра неподвижным магнитным стержнем. Отсюда следует, что величина угла отклонения не зависит от силы магнетизма стрелки и что поэтому она не оказывает никакого влияния на прибор в том случае, если в момент отклонения произошло вызванное намагничивающим действием катушки временное усиление магнетизма стрелки. Столь же мало это будет при обычно наблюдаемом ослаблении[*] магнетизма с течением времени. Эта неизменяемость значений отклонений моего мультипликатора действительно имела место при сравнении его показаний с разложением воды в вольтаметре, когда оба были в одной цепи, для промежутка времени более чем 10 месяцев, как будет ясно из следующих опытов.

В электромагнитных весах, которыми мы с Якоби пользовались в прежней совместной работе, где отталкивание 2 электромагнитными катушками 2 подвешенных к весам магнитных стержней уравновешивается и измеряется противовесами, эта независимость показаний прибора от силы магнетизма стержней, разумеется, не имеет места, и потому тогда мы были вы-

нуждены вводить поправку на временно вызываемый катушкой в магните магнетизм.

Для того чтобы иметь представление о точности измерений с мультипликатором при разных отклонениях, в долях силы тока, я приму сначала пропорциональность силы тока и тангенсов отклонения доказанной; тогда, если α есть наблюдаемое отклонение и k — постоянный коэффициент, зависящий от свойств служившего для измерений мультипликатора, то для силы тока F:

$$F = k \cdot \operatorname{tang} \alpha;$$

дифференцируя, получаю

$$dF = \frac{k d\alpha}{\cos^2 \alpha}.$$

Деля второе уравнение на первое, имею

$$\frac{dF}{F} = \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha \operatorname{tang} \alpha} = 2 \frac{d\alpha}{\sin 2\alpha}.$$

Точность отсчетов для $d\alpha = 2'$, т. е. в дуговой мере около $\frac{1}{1720}$, следовательно $2d\alpha = \frac{1}{860}$, т. е. относительная точность измеренного тока

$$\frac{dF}{F} = \frac{1}{860} \cdot \frac{1}{\sin 2\alpha}.$$

Отсюда расчетом получаем точность измерений тока:

$$\text{для } 5^\circ = \frac{1}{149},$$
$$\text{„ } 10^\circ = \frac{1}{294},$$
$$\text{„ } 20^\circ = \frac{1}{553},$$
$$\text{„ } 30^\circ = \frac{1}{745},$$
$$\text{„ } 40^\circ = \frac{1}{847}.$$

3

Я теперь приведу те испытания, которые я предпринял над моим прибором, чтобы убедиться в том, что силы токов действительно пропорциональны тангенсам углов отклонения. Прежде всего я замечу, однако, что я ни в одном из моих опытов не допускал отклонений свыше 40° — отчасти потому, что в согласии с теорией Нервандера оказалось, что пропорциональность не сохранялась при бо́льших отклонениях, а отчасти также и потому, что измерения агометром более сильных токов становились ненадежными вследствие сильного нагревания нейзильберовой проволоки и увеличения его сопротивления. Поэтому в дальнейшем я буду пытаться доказать закон тангенсов только до углов отклонения в 40°. Доказательство я проводил тремя способами, первый заключался в следующем.

Если стрелка отклоняется током на угол α от направления магнитного меридиана и удерживается при этом отклонении, то действие вращающего момента земли может быть выражено через $T\sin\alpha$, момента тока — через $F\varphi(\alpha)$, где φ — некоторая функция угла, образуемого стрелкой с витками мультипликатора; тогда

$$T\sin\alpha = F\varphi(\alpha),$$

и, следовательно,

$$F = T\frac{\sin\alpha}{\varphi(\alpha)}.$$

Если теперь ток пропорционален тангенсу отклонения, то, очевидно, функция $\varphi(\alpha)$ должна быть равна $\cos\alpha$, т. е. момент вращения, создаваемый током, равен $F\cos\alpha$. Если на прилагаемом рисунке (фиг. 4) AB есть направление магнитного меридиана, CD — направление витков мультипликатора, образующее с AB угол β, а NS — положение отклоненной стрелки, образующей с меридианом угол α, то мы имеем уравнение

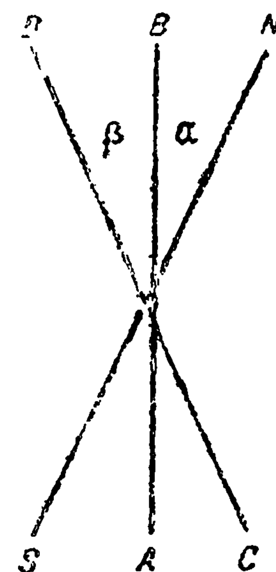
$$T\sin\alpha = F\cos(\alpha + \beta),$$

следовательно

$$\frac{F}{T}=\frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha+\beta)}.$$

Поэтому, если закон тангенсов справедлив, то, устанавливая витки под разными углами β к меридиану и наблюдая соответственные значения углов отклонения α (при неизменном токе F), мы получим из всех этих наблюдений постоянное значение для $\frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha+\beta)}$. Так как я для нормального положения витков в меридиане ограничиваюсь отклонениями в 40°, то угол $\alpha+\beta$ не должен превышать 40°.

При постройке мультипликатора и при всяких его переделках я произвел очень много наблюдений такого рода, которые все говорят в пользу закона тангенсов; я приведу, однако, только те опыты, которые произвел с мультипликатором в его окончательном виде. При этих опытах я сам поддерживал постоянство тока при помощи агометра на другом мультипликаторе, снабженном микроскопом и гораздо более чувствительном к изменению токов, чем исследуемый; в это время мой помощник г-н Пчельников производил установку катушки в различных азимутах β и добивался соответственных отклонений α; при этом поворот на угол β происходил как в одну сторону, как на рисунке, так и в другую, и β, следовательно, переходило в $-\beta$.



Фиг. 4.

В нижеприводимых таблицах опытных данных я привожу только значения $\alpha+\beta$ и соответствующие им значения $\frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha+\beta)}$.

Сравнение значений последнего столбца таблицы А с относительной погрешностью измерения токов (предыдущий параграф), показывает, что они меньше, т. е. отклонения значений $\frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha+\beta)}$ от среднего постоянного значения 0.5454 лежат в пределах

(A)

$\alpha + \beta$	$\frac{\sin \alpha}{\cos (\alpha + \beta)}$	Отклонение от среднего $= 0.5454$ Δ	$\frac{\Delta}{0.5454}$
3°	0.5454	−0.0000	0
7 19′	0.5444	+0.0010	$\frac{1}{545}$
12 19	0.5446	+0.0008	$\frac{1}{682}$
19 3	0.5441	+0.0013	$\frac{1}{497}$
28 40	0.5467	−0.0013	$\frac{1}{497}$
32 40	0.5454	−0.0000	0
36 10	0.5462	−0.0008	$\frac{1}{682}$
43 23	0.5461	−0.0007	$\frac{1}{779}$

ошибок наблюдения. Можно видеть, что закон тангенсов соблюдается еще при углах 43°23′.

Второй ряд наблюдений (табл. B) дал весьма сходные результаты.

Отклонения от постоянного значения здесь для углов 44°54′ и 45°15′ уже значительнее и больше тех ошибок наблюдения, которые мы нашли для случая таких же отклонений при нормальном положении. Я взял поэтому среднее только из первых наблюдений.

Наконец, мы имеем еще один ряд наблюдений, которые г-н проф. Нервандер в бытность свою здесь любезно произвел вместе со мной с особой тщательностью; числа суть средние из 2

(B)

$\alpha+\beta$	$\frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha+\beta)}$	Отклонение от среднего $=0.5928$ Δ	$\frac{\Delta}{0.5928}$
6° 3′	0.5918	+0.0010	$\frac{1}{593}$
14 35	0.5924	+0.0004	$\frac{1}{1482}$
14 56	0.5926	+0.0002	$\frac{1}{2964}$
16 3	0.5932	—0.0004	$\frac{1}{1482}$
23 1	0.5920	+0.0008	$\frac{1}{741}$
28 39	0.5929	—0.0001	$\frac{1}{5928}$
30 38	0.5936	—0.0008	$\frac{1}{741}$
37 56	0.5938	—0.0010	$\frac{1}{593}$
44 54	0.5944	—0.0016	$\frac{1}{370}$
45 15	0.5947	—0.0019	$\frac{1}{312}$

рядов, причем отклонения происходили в обе стороны от меридиана (табл. C на сл. странице).

Совпадение значений $\frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha+\beta)}$ для 4 первых отклонений не оставляет желать лучшего; но для 44°15′ отклонение от сред-

(C)

$\alpha + \beta$	$\frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha+\beta)}$	Отклонение от среднего = 0.3770 Δ	$\frac{\Delta}{0.3770}$
2° 7′	0.3763	+0.0007	$\frac{1}{38}$
19 7	0.3774	−0.0004	$\frac{1}{942}$
20 40	0.3770	0.0000	0
37 27	0.3773	−0.0003	$\frac{1}{1257}$
44 15	0.3786	−0.0016	$\frac{1}{236}$

него уже заметно; поэтому среднее 0.3770 взято только из первых 4 наблюдений.

Таким образом, испытание мультипликатора дало удовлетворительные результаты: при углах отклонения от направления витков до 40°, т. е. от установки стрелки в меридиане, что мы называли нормальным положением, и до 40° от меридиана закон тангенсов оказывается вполне приемлемым.

4

Вторую проверку мультипликатора я осуществлял тем, что при постоянной силе тока определял отклонение с мультипликатором, работающим сначала как тангенс-буссоль, а затем как так называемая синус-буссоль.

В первом случае витки катушки должны были быть параллельны магнитному меридиану: если закон тангенсов правилен, то можно применять формулы предыдущего параграфа. В самом деле, $\beta = 0$ и, следовательно,

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha) \quad \text{и} \quad \frac{F}{T} = \operatorname{tang} \alpha.$$

Как известно, в синус-буссоли нужно поворачивать витки катушки вслед за отклоненной стрелкой до тех пор, пока они опять не будут параллельны ей, как и без тока, и наблюдать угол отклонения α' в этом положении; тогда $\beta = -\alpha$, следовательно

$$\cos(\alpha' + \beta) = \cos 0 = 1 \quad \text{и} \quad \frac{E}{T} = \sin\alpha'.$$

При правильности закона тангенсов должно быть

$$\operatorname{tang}(\alpha) = \sin\alpha'.$$

Наблюдения с прибором как с синус-буссолью были облегчены следующим обстоятельством: когда витки и стрелка находятся в меридиане, указатель стрелки тоже чаходится под делениями нониуса; поэтому положение стрелки относительно нониуса могло быть определено точно. Вследствие этого было достаточно после отклонения стрелки поворачивать нониус до тех пор, пока указатель не придется против того же деления нониуса, и тогда отсчитывать α'.

В помещаемых далее рядах наблюдений приведены отклонения синус-буссоли и соответственные отклонения тангенс-буссоли; если принять синусы первых за истинные значения токов и определить, какие тангенсы им соответствуют, то можно получить приведенные в третьем столбце углы отклонения тангенс-буссоли; четвертый столбец содержит разности между вычисленными и наблюденными значениями углов.

Ряды (А) и (С) не оставляют сомнения в правильности закона тангенсов; в ряде (В) имеется одна разность 6.7, значение которой больше, чем можно было ожидать по наблюдениям; впрочем, этот ряд вообще менее точен, так как отклонения наблюдались только в одну сторону; наоборот, в (А) и (С) приведенные отклонения суть средние из отклонений в обе стороны при том же токе.

Ряд (С) я наблюдал вместе с г-ном Нервандером.

α′	α		
	наблюденный	вычисленный	разность
	(A)		
14°50′.5	14°21′.7	14°22′.0	+0′.3
23 32.4	21 47.0	21 46.5	—0.5
24 46.2	22 46.7	22 44.0	—2.7
34 46.0	29 43.0	29 41.6	—1.4
47 14.3	36 19.3	36 17.0	—2.3
	(B)		
4°59′.5	4°58′.0	4°58′.3	+0′.3
9 45.0	9 40.0	9 37.2	—2.8
14 22.0	14 0.0	13 56.2	—3.8
21 10.0	19 58.0	19 51.3	—6.7
24 36.5	22 38.0	22 36.5	—1.5
29 40.0	26 19.3	26 20.0	+0.7
	(C)		
12°52′	12°32′	12°33′.2	+1′.2
30 48	27 6	27 6.9	+0.9
61 34	41 20	41 19.7	—0.3

5

Третья проверка моего мультипликатора производилась путем сравнения с электролитическим действием. Первые опыты были поставлены так, что ток, поддерживаемый постоян-

ным при помощи агометра, пропускался через вольтаметр с платиновыми электродами; трубка вольтаметра была подведена в пневматическую ванну; здесь я сначала давал возможность гремучему газу некоторое время выделяться свободно; затем, в некоторый момент времени, отмечаемый по хронометру, вводилась градуированная трубка; газ улавливался до некоторого определенного момента, когда трубка опять отодвигалась. Трубка была разделена на кубические сантиметры; определялась температура газа по термометру, повешенному рядом с трубкой, равно как и барометрическое давление; отсчет производился приблизительно через четверть часа, чтобы возможное повышение температуры газа могло выравняться; впрочем, опыты, в которых отсчет производился через определенные промежутки времени, начиная с момента выделения газа, достаточно убедили меня в том, что с этой стороны можно было не опасаться никаких ошибок. При отсчете объема газа измерялась высота воды внутри трубки над уровнем воды вне ее и вводилась соответствующая поправка.

Если при отклонениях стрелки мультипликатора α, α', α'' объемы газа v, v', v'' ..., приведенные к одному барометрическому давлению и одной температуре, выделились во времена t, t', t'' ..., и если мы примем, что токи пропорциональны тангенсам отклонений стрелки мультипликатора, а ток при отклонении в 1° примем за 1, то токи равны

$$F = \frac{\operatorname{tang} \alpha}{\operatorname{tang} 1^\circ}; \quad F' = \frac{\operatorname{tang} \alpha'}{\operatorname{tang} 1^\circ}; \quad F'' = \frac{\operatorname{tang} \alpha''}{\operatorname{tang} 1^\circ},$$

и т. д., следовательно, согласно фарадеевскому закону о пропорциональности токов и электролитического действия, мы имеем:

$$v = Ftx, \; v' = F't'x, \; v'' = F''t''x,$$

и т. д., где через x обозначено количество газа для тока, равного 1, в единицу времени. Из этих уравнений я определил x по методу наименьших квадратов и по этим значениям x получил вычисленные величины v, v', v'', и т. д., которые

сравнил с наблюденными. Нижеследующая запись ряда наблюдений понятна без дальнейших объяснений.

(A)

α	t, в минутах	v		
		наблюденный	вычисленный	разность
27°20′	5	106.0	106.5	+0.5
39 40	3	101.5	101.3	—0.2
44 0	$2^1/_2$	99.7	99.4	—0.3

Объем в 1 минуту для тока, равного 1, равен $x = 0.7191$ при барометрическом давлении 780.75 мм (температура 18°.0 R) и температуре 18°.05 R.

В нижеследующем ряду наблюдений все объемы газа, полученные при заметно разнящихся давлениях и температурах, приведены к давлению 760.0 мм (температура 0°) и температуре 0°.

(B)

	t, в минутах	v		
		наблюденный	вычисленный	разность
5°	12	41.31	40.95	—0.36
10	8	55.71	55.03	—0.68
15	6	63.00	62.73	—0.27
20	6	85.28	85.21	—0.07
25	5	90.87	90.97	+0.10
30	4	89.44	90.14	+0.70

Объем газа при 760 мм (температура 0°) и 0° для 1 минуты равен $x = 0.6811$.

Следующий ряд наблюдений произведен с бо́льшей тщательностью, чем предыдущие; каждое значение объема есть среднее из 4 опытов. Отклонения отдельных 4 наблюдений от среднего не превышали 0.4 куб. сантиметра. Газ собирался над ртутью; при отсчете трубка погружалась в ртуть до тех пор, пока не сравнивались уровни внутри и вне трубки.* В таблице (C) значения объема уже приведены к 760 мм (температура 0°) и 0°.

(C)

α	t, в минутах	v наблюденный	v вычисленный	v разность
10°	14	96.23	96.99	+0.76
15	9	94.10	94.75	+0.65
20	$6^1/_2$	92.74	92.96	+0.22
25	5	91.95	91.62	—0.33
30	4	91.37	90.78	—0.59
35	3	82.91	82.56	—0.35
40	$2^1/_2$	82.87	82.43	—0.44
45	2	79.97	78.57	—1.40

* При этих экспериментах я на опыте убедился, какую осторожность следует соблюдать при собирании гремучего газа. Когда после отсчета объема я закрыл трубку пальцем и перевернул, причем внутри осталось несколько капель ртути, смесь взорвалась два раза, будучи воспламенена электричеством при трении ртути о стекло; впрочем, так как газа было мало, трубка осталась цела, и только мой палец был отброшен от ее отверстия.

Объем газа при 760 мм и 0°, выделяемый в 1 минуту током $=1$, равен $x = 0.6860$; этот результат получен только из 7 первых чисел, так как отклонения больше 40° уже не подчиняются закону тангенсов. Это следует из таблицы (C).

Из таблиц (A), (B) и (C) можно видеть, что предположение о пропорциональности токов тангенсам углов находит свое подтверждение и при электролитическом действии, так как разности между вычислением и наблюдением оказываются такого порядка, какого можно ожидать при измерении объемов газа. Впрочем, в распределении знаков этих отклонений нельзя не усмотреть наличия некоторой причины, влияющей на результат; но здесь дело не в тангенс-буссоли — это видно уже из того, что в ряду (B) при больших углах отклонения объемы оказываются слишком малыми, а в ряду (C) как раз наоборот — слишком большими. Может быть, следует искать причину, нарушающую полное совпадение, в капиллярности, которая должна была бы для воды в серии (B) вызвать действие противоположного знака, чем у ртути в серии (C); притом для (C) действительно должны были бы наблюдаться слишком большие объемы. Возможно, однако, что здесь некоторое слабое влияние могло оказать поглощение газов жидкостями, которое при более сильных токах и более быстром выделении газа должно быть слабее, чем при медленном поднимании пузырей газа, в согласии с знаком погрешности в (C). Но тогда для (B) следует принять какую-нибудь другую причину.

Если привести величины x из ряда (A) к давлению 760 мм (температура 0°) и 0°, как это уже сделано с прочими значениями, получаются для количества газа при токе 1 в 1 минуту следующие значения:

0.6903 куб. сантиметра из (A),
0.6811 „ „ „ (B),
0.6860 „ „ „ (C).

Так как ряд (C), где газ собирался над ртутью, был проведен с большой тщательностью, то я полагаю, что следует

принять за число, наиболее приближающееся к истинному значению, не арифметическое среднее, а значение ряда (C); впрочем, среднее из рядов (A) и (B) дает почти то же число. Поэтому для сравнения моей буссоли с другими мы можем принять, что ток в буссоли, равный 1, соответствует электролитическому действию = 0.686 куб. сантиметра в минуту, или 41.16 куб. сантиметра в час.

Для проверки моего мультипликатора я пользовался, кроме разложения воды, еще разложением раствора медного купороса. В качестве электродов служили медные диски диаметром $2^1/_2$ дюйма, находившиеся на расстоянии приблизительно 1 дюйма друг от друга; анод и катод взвешивались перед замыканием тока и затем вновь после некоторого определенного действия, после промывания водой и осторожного высушивания фильтровальной бумагой. Постоянно оказывалось, что анод терял в весе больше, чем приобретал катод. Я провел вычисление совершенно таким же путем, как и для разложения воды, в обоих случаях — т. е. для увеличения веса катода p и уменьшения веса анода p', причем и тот и другой веса выражены в граммах.

(D)

α	t, в часах	p (катод)			p' (анод)		
		наблюденный	вычисленный	разность	наблюденный	вычисленный	разность
5°	1.250	0.471	0.476	—0.005	0.492	0.487	+0.005
5	3.000	1.122	1.143	—0.021	1.177	1.168	+0.009
10	2.000	1.534	1.537	—0.003	1.578	1.570	+0.008
20	1.500	2.416	2.381	+0.035	2.471	2.431	+0.040
25	1.283	2.581	2.608	—0.027	2.664	2.664	+0.000
35	1.000	3.048	3.053	—0.005	3.049	3.118	—0.069
40	0.350	1.302	1.280	+0.022	1.376	1.308	+0.068

Прибавление веса катода для тока, равного 1, в час = = 0.07610. Уменьшение веса анода для тока, равного 1, в час = = 0.07773. Если принять атомный вес меди = 395.695 (по отношению к атомному весу кислорода, равному 100), удельный вес воздуха (при 760 мм и 0°) равным $\frac{1}{770}$ удельного веса воды, удельный вес кислорода равным 1.1026, то приращению веса катода соответствует объем гремучего газа, равный 40.29 куб. сантиметра в час, а уменьшению веса анода — объем гремучего газа, равный 41.16 куб. сантиметра в час.

В нижеследующем ряду определены только приращения веса катода.

(E)

α	*t*, в часах	α наблюденный	α вычисленный	α разность
10°	2.0	1.563	1.542	+0.021
20	1.5	2.393	2.388	+0.005
30	1.0	2.512	2.524	—0.012
40	0.5	1.827	1.834	—0.007

Приращение веса в 1 час при токе, равном 1, = 0.07633. что по предыдущему соответствует объему гремучего газа, равному 40.41. Из (D) мы нашли для той же величины 40.29. Это хорошее совпадение показывает, что цена делений мультипликатора не изменилась с 7 января 1842 г., когда наблюдался ряд (D), до 15 ноября 1842 г., когда наблюдался ряд (E).

Результаты рядов (D) и (E) также являются подтверждением закона тангенсов.

Для электролитического значения отклонения мультипликатора на 1° я остановлюсь на значении, полученном при

разложении воды, поскольку газ здесь собирался над ртутью. Потеря веса анода при разложении медного купороса, как можно видеть, вполне совпадает с этим значением, — оба дают 41.16 куб. сантиметра гремучего газа в час при токе, равном 1.

Что закон тангенсов соблюдается не только в моем мультипликаторе вышеописанной конструкции, но и в других приборах того же типа, следует из сообщения г-на Якоби (Bulletin scientifique, t. V, стр. 353).

6

Прежде чем переходить к опытам, поставленным с мультипликатором, проверенным вышеописанным способом, я дам сводку некоторых относящихся к этому прибору величин, которые могут понадобиться в последующем:

1. Единицей измерения всех сопротивлений, за исключением особо оговоренных случаев, является один виток моего агометра А из нейзильберовой проволоки. Он соответствует 6.358 фута медной проволоки диаметром 0.0336 англ. дюйма при температуре 15°.

2. Единицей тока является ток, отклоняющий стрелку моего мультипликатора на 1°. Электролитическое действие этой единицы тока по вышеуказанному равно 41.16 куб. сантиметра гремучего газа, при 760 мм (температура 0°) давления и при 0°, в час. В английских кубических дюймах — 2.512.

3. Единицей электродвижущей силы является сила, вызывающая при единице сопротивления ток в 1 единицу. Электродвижущая сила одного из моих элементов Даниэля в этих единицах (среднее из очень многих отклонений, мало отличающихся друг от друга) = 47.16 [8].

4. Из тщательных опытов получены следующие значения сопротивлений:

Сопротивление	проволоки и мультипликатора	= 2.338	Всех проводов цепи = 3.331.
	постоянной части агометра	= 0.134	
	всех подводящих проводов	= 0.859	

Сопротивление 1 элемента Даниэля при свежей кислоте = = 0.433; после пятикратного употребления кислоты = 0.57; кислота состояла из смеси 100 частей воды и 6 частей (по объему) английской серной кислоты.

7

Из опытов с теплом, выделяемым гальваническим током, сразу следует, что количество тепла существенно обусловлено сопротивлением, которое оказывает току нагреваемый проводник; поэтому прежде всего необходимо определить, что нужно учитывать в этом сопротивлении и как его можно определить.

О законах сопротивлений в твердых проводниках, например проволоках, у нас имеются такие точные опыты и такие изящные результаты, что мы можем основываться на них для наших целей с достаточной уверенностью; однако этого нельзя сказать про сопротивление, оказываемое току жидкостями между электродами.

Фехнер [9] сначала сделал из своих опытов заключение, что здесь ток, помимо сопротивления самой жидкости, подчиняющегося тем же законам, что и металлические проводники, испытывает еще сопротивление при переходе из жидкости в твердый проводник или из твердого проводника в жидкость, причем это сопротивление зачастую значительнее сопротивления самой жидкости и зависит от природы жидкостей и погруженных в них электродов. Он указывает, что оно обратно пропорционально погруженным площадям электродов. Я сам затратил некоторый труд, чтобы выявить необходимость принятия такого переходного сопротивления в магнито-электрических токах; Поггендорф [10] также пытался доказать его существование для этих токов, причем одно-

временно он показывает, что это сопротивление зависит от силы тока, точнее — не от общей силы, а от силы в каждой точке входа и выхода электрода, — то, что теперь называют плотностью тока, но для чего я буду пользоваться термином *интенсивность* [11], так как последний теперь уже совсем потерял свое прежнее расплывчатое значение. Напротив, другие физики, и прежде всего Ом [12], возражают против принятия такого переходного сопротивления и полагают, что все относящиеся сюда явления могут быть просто объяснены поляризацией пластинок. Среди прочих особенно основательно старался это показать Форсельман де-Геер [13], истолковывая и мой результат подобным же образом. Мой опыт доказал наличие значительных изменений в силе магнито-электрического тока, вызывавшихся тем, что ток проходил последовательно через ряд элементов с жидкостями, которые отличались друг от друга только природой погруженных в них электродов.

Я полагал, что здесь можно не принимать во внимание поляризацию, так как магнито-электрический ток был очень кратковременным, а тогда думали, что для проявления поляризации требуется, чтобы ток проходил некоторое время. Но Форсельман де-Геер теперь доказал своими опытами, что это не так, что ток, казалось бы, весьма кратковременный вызывает значительную поляризацию, что таким образом такую короткую продолжительность магнито-электрического тока можно разложить на два периода, причем поляризация, получившаяся в первом, во втором достигает уже полного действия, что и ослабляет ток так же, как переходное сопротивление. Я должен признать правильность возражений Форсельмана де-Геер, и так как они вполне применимы в случае ряда быстро друг за другом следующих магнито-электрических токов, как в опытах Поггендорфа, то и эти последние уже нельзя рассматривать как доказательные. Так как этот фактор необходимо должен оказывать очень сильное влияние на мои изложенные далее исследования, я должен был прежде всего попытаться

достигнуть ясности в этом вопросе и с этой целью поставил большое число опытов, о которых сейчас и расскажу. Я при этом исходил из того, что при наличии двух точек зрения при объяснении какого-либо явления наиболее верный путь для выбора между ними заключается в том, чтобы сначала наиболее надежно обосновать законы этого явления, и тогда уже исследовать, какая из спорных точек зрения может быть приведена в лучшее согласие с этими законами. Поэтому излагаемые далее исследования имеют целью точнее определить те закономерности, которые должно приписать переходному сопротивлению, если оно действительно существует.

Первый вопрос заключался в том, как *зависят переходное сопротивление или поляризация от силы тока*; что такая зависимость существует, было показано еще Поггендорфом. С этой целью я поступал следующим образом: я включал жидкость с ее электродами, или, как я для краткости буду говорить, *жидкостный элемент*, в цепь, которая состояла из батареи элементов Даниэля, моей тангенс-буссоли и агометра, вместе с их соединительными проводами, и определял для различных сил тока показания агометра, при которых ток давал известное отклонение α буссоли; затем я выключал жидкостный элемент из цепи и определял показание агометра, при котором ток вызывал опять то же самое отклонение α; затем опять включал элемент и повторял первое наблюдение.

Среднее между первым и третьим наблюдением давало мне значение агометра a при жидкостном элементе в цепи, а второе наблюдение — другое значение агометра a_1, когда элемент был выключен из цепи.

Полагаю для начала, что существует как переходное сопротивление L, так и поляризация пластины p; пусть далее электродвижущая сила цепи будет k; сумма сопротивлений мультипликатора, цепи, соединительных проводов и неизмеренного участка агометра будет l, сопротивление жидкости $d\lambda$ (где d — взаимное расстояние пластин и λ — сопротивление

слоя жидкости при расстоянии, равном 1); наконец, сила тока — F; тогда я имею следующие две формулы:

$$F = \frac{k}{l + a} \text{ и } F = \frac{k - p}{l + a_1 + d\lambda + L};$$

приравнивая оба значения, получаем уравнение

$$a - a_1 = d\lambda + L + \frac{p}{F}. \qquad \text{(A)}$$

Отсюда получаем для того случая, когда поляризация $p = 0$:

$$a - a_1 = d\lambda + L, \qquad \text{(B)}$$

а для случая, когда переходное сопротивление $L = 0$:

$$a - a_1 = d\lambda + \frac{p}{F}. \qquad \text{(C)}$$

8

Первый ряд опытов был произведен с вольтаметром, платиновые электроды которого, площадью (с каждой стороны) около $^3/_4$ кв. дюйма, были впаяны в стекло сосуда; вольтаметр наполнялся разбавленной серной кислотой удельного веса 1.015 (1 объемная часть английской серной кислоты на 100 частей воды). Нижеприводимые значения a и a_1 суть средние из двух рядов наблюдений, проведенных одно за другим и в обращенном порядке; a и a_1 определялись на агометре A.

Число элементов Даниэля	Показания мультипликатора	F	a	a_1	$a - a_1$		
					наблюденное	вычисленное	разность
24	40	48.07	2.306	9.013	6.707	6.785	+0.079
14	30	33.08	1.854	10.287	8.433	8.010	−0.422
11	20	20.85	6.953	16.708	9.755	10.312	+0.558
6	10	10.10	7.338	24.541	17.205	16.942	−0.280
4	5	5.01	7.579	37.988	30.409	30.283	+0.116

Шестой столбец позволяет заключить, что наблюденные значения $a - a_1$ зависят от силы тока и обратно ей пропорциональны: более сильным токам соответствуют меньшие значения $a - a_1$.

Каждая из наших трех формул (§ 6), которые мы выводили для трех возможных представлений, содержала по меньшей мере одну постоянную часть $d\lambda$; поэтому изменение следует приписывать прочим членам правых частей наших уравнений.

Попробуем удовлетворить нашим значениям $a - a_1$ выражением вида

$$a - a_1 = c + \frac{m}{F}, \qquad \text{(D)}$$

где, следовательно, переменная часть положена обратно пропорциональною токам. Из нашей таблицы мы получим тогда пять уравнений для определения c и m; из этих уравнений по методу наименьших квадратов получаем значения

$$c = 4.0835, \quad m = 129.61.$$

Подставляя эти значения в уравнения, получаем вычисленные значения $a - a_1$, приведенные в седьмом столбце; наконец, восьмой столбец содержит разности вычисленных и наблюденных значений. Из них следует, что наиболее вероятная ошибка каждого наблюдения $= 0.30$ витка агометра; эта ошибка сама по себе довольно велика, но при наблюдениях с жидкостными и водными цепями ничего другого нельзя и ожидать. Неправильное распределение знаков и [абсолютных] величин ошибок лучше всего показывает их случайный характер и, следовательно, правильность предположения, что значения $a - a_1$ состоят из двух частей: первой — постоянной и второй — обратно пропорциональной току. Поэтому из формул § 7 следует:

1. Если нет никакой поляризации, то наши опыты дают по формуле (B), что сопротивление перехода обратно пропорционально силе тока.

2. Если нет никакого сопротивления перехода L, то по (С) поляризация p есть величина, постоянная для каждой силы тока.

3. Если существуют как p, так и L, то по (А) поляризация p имеет постоянное значение, а сопротивление перехода L может быть принято или постоянным и входящим в величину $d\lambda$ как в (С), или же равным $\frac{m}{F}$, и тогда оно должно быть обратно пропорционально токам.

9

Для того чтобы выяснить зависимость сопротивления от тока, если оно имеет место одновременно с поляризацией, была поставлена несколько видоизмененная серия опытов, с другим устройством жидкостного элемента. Платиновые электроды в нем были гораздо больше; площадь, погруженная в жидкость, составляла с каждой стороны 20.63 кв. дюйма. Они были укреплены на горизонтальном стержне, снабженном делениями, и могли по нему раздвигаться на любое расстояние a, оставаясь параллельными друг другу; они находились в просмоленном изнутри четырехугольном деревянном сосуде с жидкостью; сечение сосуда было ровно настолько больше пластин, чтобы их можно было в нем свободно передвигать, не зацепляя за стенки. Расстояния измерялись в половинах английских линий и в дальнейшем приводятся в этих единицах.

Жидкостью служила разбавленная серная кислота удельного веса 1.037 при 14°9 (3%-я кислота). Пластинки теперь устанавливались последовательно в положениях 10, 75 и 140 и в каждом положении делалось определение $a - a_1$ (по агометру В), совершенно так же, как и прежде, т. е. один раз с жидкостным элементом, а другой раз без него. Это повторялось при различных силах тока. Таким путем я получил следующие опытные данные:

Число элементов Даниэля	Отклонение мультипликатора	Ток	Расстояние d	a	a_1	$a - a_1$	λ	$L + \frac{p}{F}$
24	40	48.07	140	2.735	8.531	5.796	0.0185	3.210
			75	3.600	8.202	4.602		
			10	4.550	7.916	3.366		
24	30	33.08	140	10.922	18.051	7.129	0.0190	4.478
			75	11.674	17.574	5.900		
			10	12.553	17.203	4.650		
24	20	20.85	140	31.003	40.550	9.547	0.0190	7.058
			75	31.979	40.585	8.606		
			10	32.929	40.196	7.275		
24	10	10.10	140	94 083	111.776	17.693	0.0199	14.837
			75	95.377	111.647	16.270		
			10	96.255	111.276	15.021		
12	5	5.01	140	93.077	124.892	32.815	0.0187	29.202
			75	94.847	125.390	30.543		
			10	96.196	125.580	29.384		

Из этих наблюдений теперь можно вывести следующий ответ на наш вопрос. Возьмем 2 наблюдения из 3, полученных при одном и том же токе; тогда из общего уравнения (A) (§ 7) получаем следующие два:

$$a - a_1 = d\lambda + L + \frac{p}{F},$$

$$a' - a_1' = d'\lambda + L + \frac{p}{F}.$$

Вычитая одно из другого, имеем:

$$\lambda = \frac{(a - a_1) - (a' - a_1')}{d - d'}.$$

Я получил значение λ из наблюдений при $d=10$ и $d'=75$, а затем при других расстояниях: $d=10$ и $d'=140$. Из двух значений я взял среднее, как наиболее точное значение для λ. Это значение для λ я умножаю соответственно на $d=10$, 75 и 140 и получаю таким образом 3 определения

$$L+\frac{p}{F}=a-a_1-d\lambda,$$

среднее из которых дает мне наиболее точное значение для $L+\frac{p}{F}$. Эти значения для λ и $L+\frac{p}{F}$ приведены в нашей таблице в восьмом и девятом столбцах. Значение λ заметно постоянно, по крайней мере нельзя заметить и следа какого-либо правильного роста в сторону более сильных или более слабых токов; это есть доказательство правильности того допущения, что сопротивление жидкостей, подобно сопротивлению проволок, пропорционально длинам проходимых током слоев, но не зависит от силы тока. Величина $L+\frac{p}{F}$, напротив, очень сильно зависит от тока и здесь, как и прежде, растет при его ослаблении. Посмотрим, можем ли мы положить величину $L+\frac{p}{F}$ обратно пропорциональною токам; приравняв ее при токе, равном 1, величине m, получаем уравнения

$$3.210=\frac{m}{48.07}, \quad \text{т. е.} \quad m=154.3,$$

$$4.478=\frac{m}{33.08}, \quad \text{т. е.} \quad m=148.1,$$

$$7.058=\frac{m}{20.85}, \quad \text{т. е.} \quad m=147.2,$$

$$14.837=\frac{m}{10.10}, \quad \text{т. е.} \quad m=149.8,$$

$$29.202=\frac{m}{5.01}, \quad \text{т. е.} \quad m=146.3.$$

Заметное постоянство значений m показывает, что гипотеза об обратной пропорциональности величины $L+\frac{p}{F}$ току — правильна. Отсюда следует для наших 3 случаев:

1. При отсутствии поляризации ($p=0$) переходное сопротивление обратно пропорционально току.

2. При отсутствии переходного сопротивления ($L=0$) поляризации p есть величина постоянная.

3. При наличии того и другого, переходное сопротивление должно быть обратно пропорционально току, а поляризация p постоянна для всех значений тока; в самом деле, поскольку $\frac{p}{F}$ обратно пропорционально току, то и другое слагаемое L должно себя вести так же: иначе сумма не могла бы быть обратно пропорциональна току.

10

Я провел подобный же ряд наблюдений с тем же прибором, но с другими платиновыми электродами, у которых площадь одного была с обеих сторон 17.87, а другого — 20.56 кв. дюймов. Жидкостью попрежнему служила разбавленная серная кислота, но приблизительно вдвое более крепкая (6 объемов английской серной кислоты на 100 объемов воды); ее удельный вес был 1.055 при 15°.3 R.

Нижеследующая таблица (на стр. 395) содержит результаты этого ряда в несколько сокращенном виде; а именно, я привел только разности $a-a_1$, уже как среднее из 2 наблюдений, так как только они нужны для расчетов. Агометр был другой (по моему обозначению A). В той же таблице приведены также значения λ и $L+\frac{p}{F}$ и, наконец, значения этой последней величины для тока, равного 1, которые мы в предыдущем параграфе обозначали через m.

В этой серии совпадения значения m друг с другом гораздо хуже, чем в предыдущем параграфе; за исключением только двух первых чисел, они очевидно уменьшаются с уменьшением силы тока; поэтому значения $L+\frac{p}{F}$ для более слабых токов оказываются слишком малыми, что происходит оттого, что для слабых токов мы нашли бо́льшие значения λ, чем для более сильных.

Токи F	$a - a_1$ для расстояний			λ	$L + \frac{p}{F}$	m
	140	75	10			
48.07	4.060	3.464	2.819	0.00949	2.736	131.3
33.08	5.294	4.654	4.093	0.00894	4.014	132.7
20.85	7.300	6.730	6.126	0.00916	6.032	125.8
10.10	13.101	12.530	11.892	0.00956	11.791	119.1
5.01	24.097	23.526	22.907	0.00943	22.803	114.2

Трудно сказать, в чем причина этого явления; я думаю, впрочем, что должно было сказаться то обстоятельство, что один из электродов не доходил почти до самого дна ящика, как другой и как оба в предыдущем параграфе. Если не обращать внимания на эту неравномерность и взять среднее из значений λ и m, то получим $\lambda = 0.00932$, $m = 124.6$. Так как и та и другая величина измерены с агометром А, то их нельзя непосредственно сравнить с прежними значениями, полученными с агометром В. Однако тщательная серия опытов с сравнением обоих агометров показала, что единица на В равна 0.87 на А. Если поэтому привести значения λ и L к прежним опытам с А, то получим $\lambda = 0.0165$ и $m = 129.7$. Значение λ значительно меньше, чем в предыдущем параграфе, как и следовало ожидать, так как кислота была более концентрированная; однако точно их сравнить нельзя, так как, хотя высоты налитых жидкостей не слишком отличались друг от друга, они намеренно не были уравнены. Значение m, однако, очень хорошо совпадает с значением этой величины в предыдущих параграфах, что, повидимому, указывает на то, что значения L и p не зависят от концентрации серной кислоты.

11

Теперь с этим же прибором были поставлены опыты того же рода, но с той разницей, что электроды состояли не из платины, а из медных пластинок, которые как можно лучше заполняли все сечение ящика; не обращенные друг к другу стороны были покрыты воском. Так как опыты были поставлены по тому же методу, как и в предыдущем параграфе, то я представляю результаты в таких же таблицах, которые поэтому могут быть понятны без дальнейших объяснений. Я пользовался агометром A. Поверхность погруженного электрода составляла 19.27 англ. кв. дюймов, жидкостью служила разбавленная серная кислота [удельного веса] 1.015, при температуре 14°.9 R (1% по объему английской серной кислоты).

(A)

Токи F	$a - a_1$ для расстояний				$L + \frac{p}{F}$	m
	140	75	10			
48.07	5.362	3.278	1.197	0.0321	0.872	41.86
33.08	5.622	3.659	1.484	0.0326	1.143	37.80
20.85	6.307	4.192	2.118	0.0320	1.806	37.66
10.10	7.831	5.831	5.709	0.0321	3.383	34.18
5.01	10.857	8.763	6.663	0.0323	6.339	31.67
				Среднее 0.0322		36.63

В другой серии для опытов была взята разбавленная серная кислота [удельного веса] 1.030 при 14°.9 R (3% по объему английской серной кислоты); высота жидкости была точно та же, как и в предыдущей серии, т. е. площадь электрода была прежняя.

(B)

Токи F	$a - a_1$ для расстояний 140	75	10	λ	$L + \frac{p}{F}$	m
48.07	2.791	1.936	0.995	0.0141	0.850	40.86
33.08	3.181	2.268	1.330	0.0143	1.187	39.26
20.85	3.841	2.875	1.894	0.0150	1.745	36.38
10.10	5.469	4.493	3.507	0.0151	3.357	33.91
5.01	8.423	7.523	6.527	0.0150	6.398	31.89
			Среднее	0.0147		36.46

Для третьей серии опытов я взял разбавленную кислоту [удельного веса] 1.065 при 13°7 R (6% по объему английской серной кислоты). Прочие условия были прежние.

(C)

Токи F	$a - a_1$ для расстояний 140	75	10	λ	$L + \frac{p}{F}$.	m
48.07	2.791	1.471	0.806	0.01000	0.706	33.93
33.08	2.503	1.894	1.262	0.00963	1.164	38.50
20.85	3.126	2.472	1.889	0.00910	1.813	37.80
10.10	4.753	4.126	3.477	0.00990	3.376	34.10
5.01	7.808	7.240	6.587	0.01000	6.462	32.37
			Среднее	0.00973		35.34

Из этих 3 рядов можно сделать следующие выводы.

1. Значения m во всех 3 рядах растут при увеличении тока, как мы уже отмечали в предыдущем параграфе, в последней серии опытов с платиновыми электродами; однако отклонения от среднего значения 36.14 настолько незначительны, что и для медных электродов оказываются действительными выводы § 9, смотря по тому, что берется в основу: поляризация или переходное сопротивление, или оба вместе.

2. Значение m и для медных электродов не зависит от концентрации кислоты, как это уже было доказано для платиновых электродов.

3. Значение m оказывается, однако, сильно отличным для медных и платиновых электродов: там мы имели в среднем 137.1, а здесь — 36.14.

4. Сопротивления самой жидкости пропорциональны расстояниям между электродами и постоянны для всех токов. Эти сопротивления λ для расстояний 1 при одинаковом сечении оказываются равными:

Для кислоты удельного веса	1.015	0.03270
	1.030	0.01470
	1.064	0.00973

Эти значения хорошо совпадают с значениями сопротивлений жидкости между платиновыми электродами, но строго с ними сравниваемы быть не могут, так как высота жидкости в ящике не была в точности одинакова. Тогда мы имели:

Для кислоты удельного веса	1.037	0.0165
	1.065	0.0093

12

Наконец, с тем же прибором была поставлена еще одна серия опытов, подобная вышеописанным, только теперь жидкостью служил почти насыщенный раствор медного купороса, при медных электродах. Сечение жидкости было то же самое, как и в опытах предыдущего параграфа. Агометр А.

Токи F	$a - a_1$ для расстояний 140	75	10	λ	$L + \frac{p}{F}$	m
48.07	9.855	5.568	1.222	0.0655	Не определено	
33.08	9.677	5.370	1.002	0.0600	0.040	1.423
20.85	9.470	5.167	0.831	0.0663	0.184	3.840
10.10	9.263	4.996	0.706	0.0665	0.362	3.656
5.05	8.763	5.007	0.578	0.0662	0.583	2.920
			Среднее	0.0649		2.960

Для тока 48.07 величина $L + \frac{p}{F}$ была настолько мала, что я для нее получил даже отрицательные значения; малое значение этой величины для тока 33.08 также, очевидно, является причиной соответствующего малого значения m. Здесь значения m показывают, что и для этой жидкости и медных электродов сохраняют годность заключения § 9. Сопротивление жидкости λ, при расстоянии между электродами, равном 1, в среднем равно 0.0649, т. е. вдвое больше, чем для серной кислоты 1.015; следовательно, кислота является гораздо лучшим проводником, чем медный купорос при взятой в данном опыте концентрации. Для очень концентрированного раствора медного купороса я получил из другой серии наблюдений, которую я здесь не привожу, так как она была ошибочна в другом отношении, значение $\lambda = 0.0200$.

13

Второй вопрос заключался в следующем: каким образом переходное сопротивление или поляризация пластин зависят

от величины погруженных поверхностей? Для того чтобы иметь возможность ответить на этот вопрос с наибольшей возможной точностью, я дал склеить из 5 пластинок зеркального стекла длинный четырехугольный сосуд, прямоугольное сечение которого везде было в точности одинаково. На каждом конце ящика, на узкой вертикальной стеклянной стенке, были нанесены в половинах английских линий деления, начиная от дна (изнутри ящика). Тремя установочными винтами легко можно было устанавливать уровень налитой жидкости на одной высоте на обоих концах; тогда ее поверхность была параллельна дну. Вдоль верхнего отверстия ящика, параллельно основанию, шел четырехугольный стержень, на верхней поверхности которого также были нанесены деления в половинах линий; по стержню могли передвигаться и закрепляться в любом положении 2 муфты. С нижней стороны муфт, на их концах, обращенных друг к другу, можно было зажимать электроды, протяжение которых почти в точности равнялось сечению сосуда и которые стояли в нем вертикально и параллельно друг другу. Сначала закреплялась одна муфта, затем к ней придвигалась другая, до соприкосновения электродов, и отсчитывалось положение второй клеммы; это было нулевое положение расстояния d. Затем это расстояние изменялось до другого определения значения, до третьего и т. д., совсем как в предыдущих опытах. Так как сечение ящика было повсюду одинаково, пластины могли почти касаться стенок и все же свободно передвигаться взад и вперед. Обращенные в противоположные стороны поверхности электродов были покрыты воском.

Опыты производились для каждой высоты жидкости, совсем как в §§ 9—12, для трех и более расстояний между электродами, но еще и для различных высот. В следующих таблицах приводятся, совсем как и прежде, разности $a - a_1$, т. е. показания агометра с жидкостным элементом и без него. Сила тока 10.1, серная кислота удельного веса 1.055, при 15°1 R. Агометр B.

(A)

Высота жидкости	$a - a_1$ для расстояний						
	10	15	20	25	30	60	120
10	20.601	22.352	24.417	26.316			
20	17.151		19.281		21.486		
30	16.246		17.829		19.368	38.300	
40	15.764		17.081		18.204		
50			16.537		17.303	19.703	24.522

Производя, как прежде, расчет для каждой высоты жидкости, получим следующие значения для $L+\frac{p}{F}$ и λ:

Высота жидкости	$L+\frac{p}{F}$	Наблюденное λ	Вычисленное λ	Разность
10	16.930	0.371	0.442	+0.071
20	15.054	0.214	0.221	+0.007
30	14.584	0.154	0.147	—0.007
40	14.480	0.121	0.111	—0.010
50	15.002	0.078	0.088	+0.010

Мы находим, таким образом, что величина $L+\frac{p}{F}$ не зависит от величины погруженных поверхностей электродов; только для самой малой высоты 10 полулиний это заключение заметно больше, чем для прочих высот, для которых среднее

равно 14.78. Отсюда мы заключаем — по крайней мере, для тех случаев, когда величина погруженных поверхностей электродов превосходит 136.5 кв. линий, — следующее:

1. При отсутствии поляризации ($p=0$) переходное сопротивление не зависит от глубины погружения электрода.

2. При отсутствии переходного сопротивления ($L=0$) поляризация является величиной, не зависящей от глубины погружения электродов.

3. При наличии как переходного сопротивления, так и поляризации пластин, обе эти величины должны быть постоянны для каждой глубины погружения.

Так как для тока 10.1 было найдено значение $L+\frac{p}{F}=$ $=14.78$, то значение m для тока, равного 1, $=15.78\cdot 10\,1=$ $=149.278$ по агометру В. Следовательно, приводя к агометру А умножением на 0.87, получаем $m=129.87$; это значение согласуется очень хорошо с значением, полученным для гораздо бóльших электродов в §§ 9 и 10 и для приблизительно таких же электродов в § 8 — там мы имели соответственно значения 129.1, 124.6 и 129.61, — все отнесенные к агометру А. Это — новое и, вследствие большего различия погруженных поверхностей (от 1.36 до 20.63 кв. дюйма), более совершенное доказательство независимости m, а также L и $\frac{p}{F}$ от величины погруженных поверхностей.

Если мы возьмем сопротивления жидкости λ для различных высот (за исключением наблюдения для высоты 10), то в среднем получим для сопротивления при высоте 1 значение 4.38. Эта величина, разделенная на высоту, дает вычисленные значения λ нашей таблицы; разности между вычисленными и наблюденными ранее значениями показывают, по своей незначительности и по переменным знакам, что сопротивления жидкости в самом деле обратно пропорциональны сечениям. Значительное различие дает только первое наблюдение, если привлечь и его. Таким образом, мы находим при малых поверхностях электродов как для $L+\frac{p}{F}$, так и для λ значитель-

ные отклонения от результатов, полученных с прочими поверхностями. Две нижеследующих серии наблюдений совершенно аналогичны только что приведенной серии А и потому понятны без дополнительных разъяснений; числа суть средние из двух рядов наблюдений.

(B)

Платиновые электроды. Серная кислота (удельный вес 1.050, при температуре 14°6 R). Ток 10.1. Агометр H

Высота жидкости	$a - a_1$ для расстояний			$L + \frac{p}{F}$	Наблюденное λ	Вычисленное λ	Разность
	10	20	30				
10	21.727	25.959	30.225	17.486	0.4242	0.4792	+0.0550
30	15.951	17.638	19.007	14.322	0.1605	0.1592	—0.0008
50	14.837	15.955	16.857	13.755	0.1064	0.0958	—0.0106

Из наблюдений при 30 и 50 полулиниях получается для агометра B среднее значение $L + \frac{p}{F} = 14.038$; следовательно $m = 141.78$ и для агометра A $m = 123.35$.

(C)

Платиновые электроды. Серная кислота (удельный вес 1.015, при 15°8 R). Ток 10. Агометр H

Высота жидкости	$a - a_1$ для расстояний			$L + \frac{p}{F}$	Наблюденное λ	Вычисленное λ	Разность
	10	20	30				
10	30.533	44.701	57.997	16.510	1.395	1.563	+0.168
30	19.155	24.859	30.001	13.356	0.566	0.521	—0.045
50	17.266	20.450	23.673	14.077	0.319	0.313	—0.006

Из наблюдений при 30 и 50 полулиниях следует для $L + \frac{p}{F}$ среднее значение 13.716; следовательно для агометра A $m = 120.54$.

14

Так как все опыты предыдущего параграфа дали, что для высоты 10 значение $L + \frac{p}{F}$ оказалось заметно бо́льшим, а значение λ значительно меньшим, чем можно было ожидать из опытов с другими, бо́льшими высотами, — были поставлены следующие опыты, чтобы еще лучше установить влияние слишком малой величины электродов. В прочих отношениях опыты были точно таковы же, как и раньше.

Электродами служили платиновые проволоки, доходившие до дна стеклянного сосуда; следовательно, глубина погружения при тех же высотах жидкости была такою же, как и у прежних пластин, тогда как погруженные площади были меньше, в силу меньшего диаметра проволок, равного 0.35 дюйма.

(A)

Серная кислота (удельный вес 1.050, при 15°4 R). Ток 10. Агометр B

Высота жидкости	$a - a_1$ для расстояний			$L + \frac{p}{F}$	Наблюденное λ	Вычисленное λ	Разность
	10	20	30				
10	26.991	29.831	33.517	24.011	0.3051		
30	19.122	21.013	21.988	17.838	0.1433	0.1445	+0.0012
50	17.283	18.132	19.019	16.409	0.0868	0.0864	—0.0004

По приведенной величине сечения проволок легко находим, что погруженные поверхности при высотах жидкости 10, 30

и 50 были соответственно 5.59, 16.68 и 27.57 кв. линий, тогда как в прежних электродах при высоте 10 мм имели уже 45.5 кв. линии.

Мы находим, что $L+\frac{p}{F}$ для всех 3 высот оказывается больше, чем в случае поверхностей электродов в 90 и больше кв. линий; далее опыты давали постоянную величину. Следует считать эти результаты аналогичными прежним.

В нижеследующей серии в качестве электродов служили вместо проволок узкие платиновые полоски, у которых стороны, не обращенные друг к другу, были покрыты воском; их ширина 2.5 линии; таким образом, при высоте жидкости, равной 1, погруженная поверхность составляла 1.25 кв. линии.

(B)

Серная кислота (удельный вес 1.050, при 15°4 R). Ток 10. Агометр B

Высота жидкости	$a - a_1$ для расстояний			$L+\frac{p}{F}$	Наблюденное λ	Вычисленное λ	Разность
	10	20	30				
10	24.452	28.962	33.230	19.983	0.4449	0.4789	+0.0340
20	18.818	20.463	21.841	17.218	0.1578	0.1596	+0.0018
50	17.333	18.426	19.296	16.278	0.0037	0.0968	—0.0077

При наибольшем погружении электродов, или при высоте жидкости = 50, погруженная поверхность = 62.5; так как при такой глубине значение $L+\frac{p}{F}=16.278$, т. е. значительно больше, чем 14—15, когда это значение становится постоянным, то следует, что при этой поверхности погружения область постоянства еще не достигнута; она достигается, как мы раньше видели, при 136.5.

Если мы расположим значения $L+\frac{p}{F}$, полученные для платиновых электродов и серной кислоты, в порядке величин погруженных площадей электродов (выражая площади в английских квадратных линиях), не учитывая разведения кислоты, от которой они оказываются независимыми, то получим следующие данные, являющиеся средними из различных значений, полученных для равных площадей:

(С)

Погруженная площадь	$L+\frac{p}{F}$	
5.59	24.011	Агометр B
12.50	19.983	
16.68	17.838	
27.57	16.409	
37.50	17.218	
45.50	16.975	
62.50	16.276	
91.00	15.054	
136.50	14.088	
182.00	14.480	
227.50	14.278	
2063.00	14.55	

Хотя в этой серии (С) встречаются некоторые нарушения правильности хода, вполне, впрочем, объяснимые столь большим различием по форме электродов (каковы пластинки и проволоки), которыми мы пользовались, все же можно отчетливо видеть, что значения $L+\frac{p}{F}$ при увеличении погруженной площади каждого электрода до, приблизительно, 1 кв. дюйма непрерывно уменьшаются; начиная же с этой границы, $L+\frac{p}{F}$ приобретает постоянное значение, по крайней мере при увеличении поверхности до 20.63 кв. дюйма.

Все это, впрочем, имеет место только при токе 10.1; из нижеследующей серии как будто следует, что для более слабых токов постоянство наступает уже при меньшей глубине погружения; впрочем, полностью разъяснить этот вопрос должны более подробные опыты. Для опытов бралась серная кислота (удельный вес 1.050, при 15°.4 R) и широкие платиновые электроды; жидкость наливалась до высоты 10. Площадь погруженной поверхности = 45.5 кв. линии. Токи были 5, 15 и 25° отклонения.

(D)

Силы токов	$a - a_1$ для расстояний			λ	$L + \frac{p}{F}$	$L + \frac{p}{F}$ для тока 10.1
	10	20	30			
26.71	9.994	12.229	15.320	0.2449	7.616	20.14
15.35	14.447	17.206	20.702	0.2943	11.568	17.59
5.01	38.097	36.408	38.835	0.3090	29.931	14.84

Числа последнего столбца получены вычислением из чисел предпоследнего столбца, полагая значения $L + \frac{p}{F}$, на основании предыдущего, обратно пропорциональными токам. Можно видеть, что для тока 5.01 при площади погружения 45.5 имеем результат, весьма близкий к конечному значению, тогда как при почти двойном токе площадь поверхности оказывается для этого слишком малой. Поэтому кажется, что величина поверхности электродов, обусловливающая постоянство значений $L + \frac{p}{F}$, зависит от силы тока и что дело заключается в том, что для каждого бесконечно малого участка поверхности электрода сила выходящего из него тока, или, другими словами, *интенсивность тока*[14] не должна превосходить некоторую границу, чтобы величина $L + \frac{p}{F}$ оставалась постоянной.

15

Все вышеприведенные опыты по зависимости величины $L + \frac{p}{F}$ от глубины погружения электродов были произведены с платиновыми электродами в более или менее разведенной серной кислоте. Кроме того, я поставил еще 3 серии опытов с иными условиями, только для того, чтобы убедиться,

что и здесь имеют место те же законы; действительное определение величины $L+\frac{p}{F}$ должно быть отложено до другого более тщательного исследования. В первых 2 сериях я брал при тех же широких платиновых электродах, с которыми были поставлены опыты § 13, азотную и соляную кислоту; в третьей серии я погружал медные электроды в серную кислоту.

(A)

Платиновые электроды с азотной кислотой (удельный вес 1.025, при 15°.4 R). Ток 10.1

Высота жидкости	$a - a_1$ для расстояний					$L+\frac{p}{F}$	Наблюденное λ	Вычисленное λ	Разность
	10	20	30	40	50				
10	20.619	25.013	30.405	35.056		16.023	0.4700	0.5285	+0.0585
30	16.825	18.657	20.683	22.585		15.010	0.1832	0.1762	—0.0070
50	15.318		17.586		19.805	14.145	0.1132	0.1052	—0.0075

(B)

Платиновые электроды и соляная кислота (6% по объему, удельный вес 1.015, при 15°.8 R). Ток 10.1

Высота жидкости	$a - a_1$ для расстояний			$L+\frac{p}{F}$	Наблюденное λ	Вычисленное λ	Разность
	20	40	60				
20	19.087	25.747	31.855	12.562	0.3247	0.3116	+0.0131
30	16.546	20.687	24.875	12.399	0.2076	0.2078	—0.0002
40	15.570	18.560	21.915	12.520	0.1540	0.1558	—0.0018
50	14.785	17.225	19.587	12.359	0.1210	0.1247	—0.0037

(C)

Медные электроды и серная кислота (6% по объему, удельный вес 1.055, при 15°1 R). Ток 10.1

Высота жидкости	$a - a_1$ для расстояний			$L + \frac{p}{F}$	Наблюденное λ	Вычисленное λ	Разность
	20	40	60				
10	13.26	20.88	28.77	5.61	0.388	0.433	+0.045
30	7.68	10.55	13.55	4.79	0.145	0.144	—0.001
50	6.34	8.26	10.09	4.43	0.095	0.087	+0.008

Серия (A) показывает, что и для азотной кислоты значение $L + \frac{p}{F}$ приобретает постоянное значение, как только величина погруженной поверхности превысит 1 кв. дюйм (что будет иметь место при высоте 30), и самая величина этого постоянного значения совпадает с той, которая была получена для серной кислоты.

Серия (B) еще лучше показывает постоянство значений $L + \frac{p}{F}$ для всех 4 высот, абсолютное значение несколько ниже (в среднем 12.5 вместо 14.5).

И для медных электродов и серной кислоты для $L + \frac{p}{F}$ получено почти постоянное значение при площади поверхности, превышающей 1 кв. дюйм; однако, это значение (4.4) более чем в 3 раза меньше, чем для платиновых электродов. Это значение хорошо согласуется с полученным в подобном случае (§ 11, C) при гораздо бóльших электродах и при таком же токе (3.477 по агометру A, т. е. 4.0 по агометру B), так как природа медных пластин легко могла быть несколько отличной.

16

Как конечный результат всех вышеприведенных опытов я выставлю следующие два положения:

1. Переходное сопротивление, если оно существует, должно быть обратно пропорционально силам токов.

2. Переходное сопротивление, если оно существует, не зависит от величины погруженной площади, по крайней мере тогда, когда эта последняя превосходит некоторую определенную границу.

Мы уже видели в § 7, что если мы примем эти законы, все явления одинаково легко могут быть объяснены как переходным сопротивлением, так и поляризацией пластин, или тем и другим вместе. Для *вычисления сил токов* при электролитическом действии оказывается поэтому совершенно безразличным, какому из трех предположений мы окажем предпочтение; результаты будут всегда одинаковы, если только мы будем каждый раз определять выводимые из опытов константы в смысле принятой гипотезы. Но для *теории гальванического тока* или для определения законов таких его проявлений, которые непосредственно зависят от *сопротивления электролитического элемента*, каковыми являются тепловые явления, имеет огромную важность изучение истинной природы тех явлений, которые мы обозначали термином переходного сопротивления. И вот для меня представляется ясным, что мы будем поступать последовательнее и с бо́льшим соответствием с другими явлениями, если явления так называемого переходного сопротивления припишем одной только *поляризации пластин* и таким образом вычеркнем термин: *сопротивление перехода* из номенклатуры гальванического тока; я прихожу к этому положению по следующим соображениям:

1. Представляется последовательным не привлекать к объяснению какого-либо явления две причины, когда для этого достаточно одной; а так как поляризация пластин несомненно существует и ее достаточно, чтобы объяснить явления всех вышеприведенных опытов, то представляется последовательным принять ее как единственную причину.

2. Понятие сопротивления в явлениях гальванического тока по своему характеру всегда является несколько пассивным; зависимость сопротивления от силы тока противно этому характеру; и в самом деле, мы, как известно, не наблюдаем такого явления ни для твердых тел, ни для жидких, как мы видели из значений λ в изложенных ранее наших опытах.

3. Все прочие сопротивления гальваническому току обратно пропорциональны сечениям проводников, как твердых, так и жидких, как это доказывают для последних наши опыты (§ 13); переходное сопротивление и здесь составило бы исключение, по крайней мере для такой площади электродов, которая превосходит некоторую величину.

Эти соображения заставляют меня впредь, в согласии с Омом и Форсельманом де-Геером, совсем игнорировать сопротивление перехода и все сюда относящиеся явления приписывать только поляризации пластин, для которой тогда имеют место следующие законы:

1. Поляризация электродов наступает мгновенно и в полной мере вслед за замыканием тока.

2. Она не зависит от силы тока.

3. Она не зависит от величины электродов, если последняя превосходит некоторую определенную величину, бóльшую для более сильных токов.

4. Она зависит от природы электродов и находящейся с ними в соприкосновении жидкости, но не от концентрации последней (например разбавленной серной кислоты).

Поэтому формула для тока F, проходящего через жидкостный элемент, сопротивлением λ, при электродвижущей силе цепи k (точнее, при разности между электродвижущей силой и поляризацией пластин цепи), сопротивлении цепи L и поляризации пластин p:

$$F=\frac{k-p}{L+\lambda}.$$

ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА В ПРОВОЛОКАХ

Доложено 11 августа 1843 г.

17

В предыдущем я, прежде всего, доказал применимость закона тангенсов к моему нервандеровскому мультипликатору; при этом я воспользовался тремя известными мне до сего времени методами. Первый метод заключается в сравнении отклонений стрелки, которые один и тот же ток производит при различных азимутах витков по отношению к магнитному меридиану; этот метод был впервые введен Нервандером, который изложил его принцип в собрании естествоиспытателей в Бонне; он коротко сообщен Мозером в „Doves Repertorium“ (ч. I, стр. 261). Мне этот метод известен в течение 8 лет — по сообщению автора и по совместной с ним работе по проверке его ящичного мультипликатора; с тех пор я всегда применяю его с весьма большой пользой.

Второй метод — метод синус-буссоли гальванометра; этот метод был применен в гальванометрии сначала Пулье [15], а затем многими другими авторами. Наконец, третий метод заключался в сравнении гальванометра с химическим действием при одном и том же постоянном токе; такое сравнение было произведено впервые Якоби в цитированной уже выше статье.

С тех пор Поггендорф также предложил метод эмпирической поверки мультипликатора, закон отклонения которого не известен, с составлением соответственной таблицы поправок. Очевидно, однако, что этот метод является тем же методом

Нервандера, представленным в измененном виде; я его применял в первоначальном виде и должен дать показание в его пользу. Применение его принципа к составлению эмпирических поправок напрашивается само собой, и таковое действительно производилось как им, так неоднократно и мною — мною именно в случаях, когда отклонение превышало 40°.

После того как я с несомненностью показал правильность моего прибора вплоть до отклонений в 40°, я попытался показать, что можно пренебречь переходным сопротивлением при расчете тока в гальванической цепи, учитывая вместо него только поляризацию пластин.

Впрочем, изложенные ниже исследования от этого последнего положения совсем не зависят: они требуют только правильного мультипликатора.

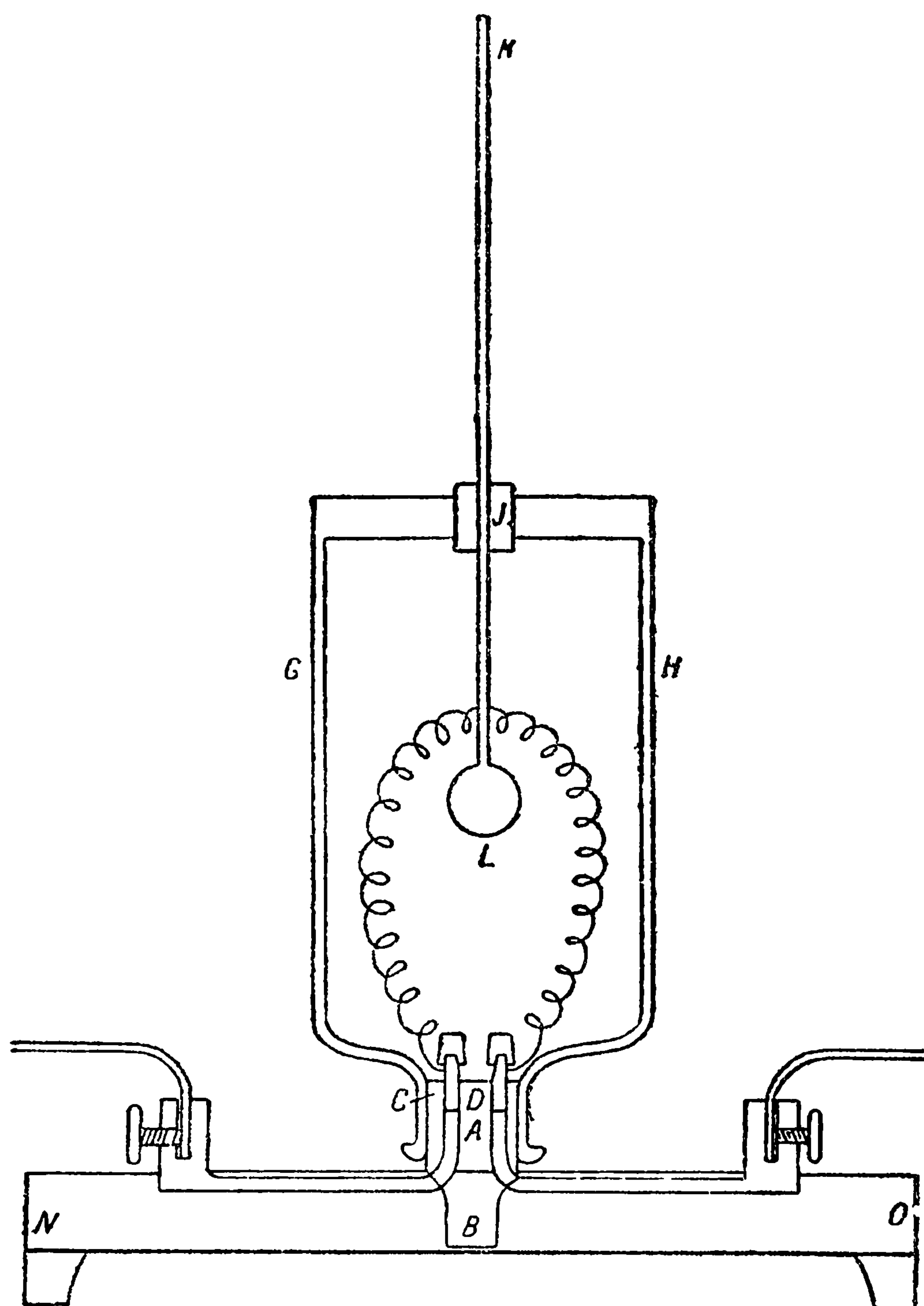
18

Мои исследования по выделению тепла гальваническим током распадаются на две части — определение выделения тепла при отсутствии химического разложения и выделения тепла при наличии такового.

Для решения вопроса в первом случае я определял выделение тепла при прохождении тока через металлические проволоки. Для этого служил следующий прибор.

На доске *NO* в середине укрепляется пришлифованная к горлышку опрокинутой склянки *GH* стеклянная пробка *AB*; пробка смачивается жиром, так что в установленную на нее склянку *GH* вода и воздух проникнуть не могут. Латунный зажим, опущенный на чертеже, прижимает к доске нижнюю горизонтальную кромку горлышка склянки, так что эта последняя не может упасть даже при сильном движении прибора. Наверху, т. е. собственно в дне склянки, просверлено цилиндрическое отверстие *J*, в которое вставляется пробка с пропущенным через нее термометром *KL*; его шарик спущен до середины бутыли. На самой трубке термометра алмазом нанесены деления через $^1/_5$°, так что с полной уверенностью можно

отсчитывать $^1/_{25}{}^\circ$; термометр тщательно прокалиброван. Перемещением в пробке его легко можно установить на любой высоте. Стеклянная пробка *AB* просверлена и через отверстия проведены и залиты 2 платиновых проволоки, *C* и *D*, с коническими окончаниями внутри склянки; на эти концы могут надеваться пришлифованные к ним массивные платиновые насадки.



Фиг. 5.

Подлежащая прогреванию проволока предварительно наматывается в катушку на стержень толщиной до 2 линий; ее концы зажимаются между платиновыми конусами и насадками; как видно из рисунка, катушка благодаря своей упругости держится в стоячем положении; при этом ее витки нигде друг с другом не соприкасаются. Нижние концы платиновых конусов припаяны к медным проводам, пропущенным через доску и имеющим на концах зажимные винты, помощью которых осуществляется соединение с гальванической батареей. Таковою служит батарея Даниэля (24 пары). В склянку наливалась жидкость, нагревание которой от проволоки определялось термометром; уровень жидкости в бутыли брался такой, чтобы вся проволока была покрыта. Жидкостью служил 85—86%-й спирт; вода, даже дистиллиро-

ванная, представляла собой такой хороший проводник, что через нее шла часть тока; это можно было сразу заметить по некоторому выделению газа на проволоке. Напротив, спирт не давал никаких следов выделения газов; при внимательном рассматривании проволоки в лупу во время прохождения тока можно было заметить только (благодаря различию в показателях преломления), как нагретая жидкость поднималась вверх со всех участков нагреваемой проволоки. Только в одном случае взятая для накаливания нейзильберовая проволока была покрыта таким грязным поверхностным слоем, что даже в дистиллированной воде не было никакого выделения газа.

Опыты производились с этим прибором следующим образом. Проволочная катушка вставлялась в прибор и наливалось определенное количество спирта; после этого прибор включался в цепь с мультипликатором, агометром A и батареей Даниэля; помощник, наблюдая агометр, все время поддерживал силу тока при определенной величине, а я сам наблюдал по хронометру подъем термометра в спирту. При этом, вращая прибор по небольшому кругу, я приводил жидкость в непрерывное вращательное движение, благодаря чему температура внутри жидкости во всех точках [постоянно] была равномерна. Таким путем достигался очень правильный подъем термометра, тогда как при прекращении этого непрерывного перемешивания термометр поднимался скачками и результаты наблюдения становились совершенно ненадежными.

Когда нагревание достигало такой степени, выше которой я его не хотел вести и о которой я сейчас скажу подробнее, ток размыкался, и отмечалось положение агометра; затем цепь опять замыкалась однако уже без нагревательного прибора; ток доводился до прежней величины и отсчитывалось потребное для этого положение агометра; тогда прибор еще раз включался, снова выключался и, наконец, еще раз включался. Таким путем получаются для одного тока 3 отсчета агометра с включенным нагревательным прибором и 2 без него; берется среднее; разность первого и второго дает сопротивле-

ние нагревательного прибора в долях 1 витка агометра; согласно вышеуказанному, этот единичный виток служит у меня постоянной единицей для всех сопротивлений. Это сопротивление прибора слагается из трех частей — сопротивлений медных подводящих проводов, платиновых конусов и исследуемой катушки. Первым можно вполне пренебречь по сравнению с другими, так как медные провода имели общую длину всего 4 дюйма и были толще 1 линии; сопротивление платиновых конусов, которые тоже были толщиною около 1 линии и при этом имели длину немного больше 1 дюйма, также почти равно 0. Впрочем, если бы это сопротивление платиновых конусов и нельзя было приравнять нулю, это все же не сказывалось бы на результате, так как их нагревание большей частью передается жидкости, подчиняясь при этом в точности тем же законам, что и нагревание проволоки; из последующего изложения это станет еще яснее.

По окончании каждого из таких опытов определяется вес всего прибора в граммах, равно как и вес пустого прибора; разность дает количество служившей для опыта жидкости. Крепость спирта определялась каждый день спиртомером.

19

Прежде чем излагать самые наблюдения, я предпошлю некоторые теоретические соображения, которыми руководился при наблюдениях.

Пусть дано количество жидкости Q; ее удельная теплота пусть будет s; пусть внутри жидкости находится источник тепла постоянного действия, в единицу времени сообщающий единице количества вещества, при удельной теплоте, равной 1, нагревание w; тогда нагревание, вызываемое этим источником тепла в нашей жидкости Q, будет $=\frac{w}{Qs}=k$. Пусть теперь Q находится в среде, которая имеет температуру U и от которой она в единицу времени получает столько тепла, что, при

разности температур, равной 1°, переход тепла имел бы такую величину, что мог бы нагреть такое же количество [вещества] Q на $m°$. Примем, что начальная температура Q равна u_0 и ниже, чем у среды; спрашивается, какова будет температура u через время t?

Примем, что по закону Ньютона приход тепла пропорционален разности температур (что всегда здесь можно допустить вследствие малости разностей) и что масса Q во всех частях имеет одну и ту же температуру (что достигается непрерывным перемешиванием жидкости); тогда можем рассуждать следующим образом.

Если для времени t температура равна u, то для бесконечно малого промежутка времени dt приращение температуры равно du; это приращение вызывается двумя причинами: ***во-первых***, нагреванием от источника тепла, которое мы можем обозначить через kdt, и, ***во-вторых***, нагреванием от окружающей среды, которое можно выразить как $m(U-u)\,dt$; следовательно,

$$du = kdt + m(U-u)\,dt = [k + m(U-u)]\,dt,$$

или

$$dt = \frac{du}{k+m(U-u)},$$

и интеграл $t = C - \frac{1}{m}\log[k + m(U-u)]$; так как для $t=0$ начальная температура $U = u_0$, то

$$t = \frac{1}{m}\log\frac{k+m(U-u_0)}{k+m(U-u)}.$$

Теперь спрашивается, нельзя ли путем некоторых комбинаций при наблюдении нагревания совсем исключить влияние окружающей среды? Если бы это было так, то за время t мы получили бы, очевидно, нагревание kt, откуда получается усло-

вие $u - u_0 = kt$, или $t = \frac{u - u_0}{k}$; следовательно, для этого случая

$$\frac{u - u_0}{k} = \frac{1}{m} \log \frac{k + m(U - u_0)}{k + m(U - u)},$$

или, подставляя $\frac{m}{k} = \mu$,

$$\mu(u - u_0) = \log \frac{1 + \mu(U - u_0)}{1 + \mu(U - u)},$$

или

$$e^{\mu(u - u_0)} = \frac{1 + \mu(U - u_0)}{1 + \mu(U - u)}.$$

Разлагая обе части в ряд, имеем

$$1 + \mu(u - u_0) + \frac{\mu^2}{2}(u - u_0)^2 + \frac{\mu^3}{2.3}(u - u_0)^3 + \ldots =$$

$$= 1 + \mu(u - u_0) - \mu^2(u - u_0)(U - u) + \mu^3(u - u_0)(U - u)^2.$$

Если μ — малая величина, т. е. если нагревание жидкости от постоянного источника тепла происходит гораздо быстрее, чем от окружающей среды, то можно пренебречь третьими степенями μ; тогда получаем из вышеприведенного уравнения:

$$\frac{u - u_0}{2} = -(U - u), \quad \text{или} \quad u - U = U - u_0, \qquad \textbf{(A)}$$

т. е. начальная температура нагреваемого вещества Q должна быть настолько же ниже температуры среды, насколько выше ее конечная температура. Тогда масса Q получает от окружающей среды как раз столько, сколько она потеряет потом, когда ее температура станет выше. При этом температуры не должны *сильно* превышать температуру окружающей среды или быть ниже ее.

20

Так как образ действий во всех опытах оставался одним и тем же, я поясню его на одном произвольно выбранном примере. Определялось нагревание, вызываемое медной катуш-

кой в окружающем ее спирте при токе силою 35° по мультипликатору. Температура воздуха во время этого опыта была 16°,0 R. Сначала сосуд со спиртом бы охлажден водой со льдом приблизительно до 7°; затем в прибор было налито определенное количество спирта, вставлен термометр, прибор включен в цепь, и ток подведен помощью агометра к 35° по мультипликатору. Затем я наблюдал по хронометру при постоянном перемешивании жидкости те моменты, когда термометр показывал 10°, затем 11, 12, 13, 14 и 15°; так как при 15° показание термометра было на 1° ниже температуры среды (16°), то следующее наблюдение было сделано в тот момент, когда температура на столько же превышала 16°, т. е. при 17°, и затем при 18, 19, 20, 21 и 22°. Далее, я вычел время для 15° из времени для 17°, время для 14° из времени для 18°, и т. д. и получил таким образом нагревания для 6 интервалов времени, из которых каждый охватывал по одинаковому числу градусов выше и ниже температуры окружающей среды. Полученные числа приведены в следующей табличке:

Для	12°	время	нагревания	равно	6.53	минуты
„	10	„	„	„	5.42	„
„	8	„	„	„	4.30	„
„	6	„	„	„	3.25	„
„	4	„	„	„	2.22	„
„	2	„	„	„	1.05	„

Обозначая время, необходимое для нагревания на 1°, через τ, получаю следующие 6 уравнений:

$$12\tau = 6.53, \quad 8\tau = 4.30, \quad 2\tau = 1.05,$$
$$10\tau = 5.42, \quad 6\tau = 3.25, \quad 4\tau = 2.22,$$

откуда определяю τ по методу наименьших квадратов. Подставляя это значение вместо x в вышеприведенные уравнения, получаю расчетные данные для промежутков времени при различных нагреваниях; разности между этими величинами и наблюденными показывают мне, не слишком ли сильно отличались тем-

пературы от температуры среды, иначе говоря, можно ли к ним применять нашу формулу (A), приведенную в § 19.

Для нашего случая $\tau = 0.5419$ и, следовательно, для времен нагревания имеем:

Наблюдено	Вычислено	Разность
6.50	6.53	+0.03
5.42	5.42	+0.00
4.33	4.30	—0.03
3.25	3.25	—0.00
2.17	2.22	+0.05
1.08	1.05	—0.03

Абсолютные величины разностей и совершенно несистематический ход знаков показывают, что нагревания лежат в тех границах, где благодаря принятому методу наблюдения влияние среды полностью исключается.

Наконец, были определены веса жидкости $Q = 90.174$ грамма, сопротивление проволоки $\lambda = 5.406$ и крепость спирта Sp. $= 85.1\%$.

Форма записи, которой я буду пользоваться в дальнейшем, такова (сила тока дана не в градусах, а в ранее установленной нами единице):

Медная проволока

Ток 40.12.

Нагревание	Время нагревания, в минутах			
	наблюдено	вычислено	разность	
12°	6.53	6.50	+0.03	
10	5.42	5.42	0.00	$\tau = 0.5419$
8	4.30	4.33	—0.03	$\lambda = 5.405$
6	3.25	3.25	0.00	$Q = 90.174$ грамма
4	2.22	2.17	+0.05	Sp. $= 85.1\%$
2	1.05	1.08	—0.03	

Для исследования бралась проволока из меди, железа, платины, нейзильбера; эта последняя — трех различных диаметров; я их буду обозначать I, II и III, причем I — самый тонкий. Проволоки медная, железная, платиновая и нейзильберовая I были протянуты через одно и то же отверстие [волочильной доски], т. е. имели одинаковый диаметр; нейзильберовая проволока II была толще I, а III — еще толще.

21

Я считаю, что самое лучшее будет сначала привести все наблюдения, так как я предполагаю комбинировать их различным образом для вывода результатов.

Нейзильбер I

(А)

Ток 15.35.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	10	5.28	5.27	+0.01	
	8	4.22	4.22	0.00	$\tau = 0.5\,71$
	6	3.15	3.16	−0.01	$\lambda = 36.294$
	4	2.10	2.11	−0.01	$Q = 89.723$ грамма
	2	1.05	1.05	0.00	Sp. = 87.0%
2	10	5.32	5.28	+0.04	
	8	4.22	4.23	−0.01	$\tau = 0.52\,35$
	6	3.15	3.17	−0.02	$\lambda = 36.545$
	4	2.08	2.11	−0.03	$Q = 89.514$ грамма
	2	1.05	1.06	−0.01	
3	10	5.27	5.26	+0.01	
	8	4.23	4.21	+0.02	$\tau = 0.5261$
	6	3.13	3.16	−0.03	$\lambda = 37.179$
	4	2.08	2.10	−0.02	$Q = 87.787$ грамма
	2	1.05	1.05	0.00	

В среднем из 3 рядов (А): $\tau = 0.5272$, $\lambda = 36.673$, $Q = 89.075$ грамма Sp. = 87%.

(B)

Ток 10.10.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	10.8	14.85	14.82	+0.03	
	8.8	12.10	12.08	+0.02	$\tau = 1.373$
	6.8	9.30	9.33	—0.03	$\lambda = 35.122$
	4.8	6.57	6.59	—0.02	$Q = 89.930$ грамма
	2.8	3.85	3.84	+0.01	Sp. = 85.7%
	0.8	1.10	1.10	0.00	
2	8.8	11.68	11.69	—0.01	
	6.8	9.02	9.02	0.00	$\tau = 1.326$
	4.8	6.35	6.37	—0.02	$\lambda = 35.177$
	2.8	3.70	3.71	—0.01	$Q = 90.020$ грамма
	0.8	1.02	1.06	—0.04	

В среднем из обоих рядов (B): $\tau = 1.3495$, $\lambda = 35.150$, $Q = 89.975$ грамма, Sp. = 85.7%.

(C)

Ток 15.35.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	10.4	5.97	5.93	+0.04	
	8.4	4.75	4.79	—0.04	$\tau = 0.5706$
	6.4	3.63	3.65	—0.02	$\lambda = 35.204$
	4.4	2.52	2.51	+0.01	$Q = 89.989$ грамма
	2.4	1.37	1.37	0.00	Sp. = 85.7%
2	10.6	6.05	6.07	—0.02	
	8.6	4.92	4.92	0.00	$\tau = 0.5716$
	6.6	3.78	3.78	0.00	$\lambda = 35.192$
	4.6	2.73	2.63	+0.10	$Q = 90.056$ грамма
	2.6	1.42	1.49	—0.07	

В среднем из обоих рядов (C): $\tau = 0.5711$, $\lambda = 5.198$, $Q = 90.023$ грамма, Sp. = 85.7%.

(D)

Ток 20.85.

Нагревание	Время нагревания			
	наблюдено	вычислено	разность	
1 { 10.6	3.17	3.19	—0.02	$\tau =$ 0.3007
8.6	2.55	2.59	—0.04	$\lambda =$ 35.338
6.6	2.05	1.98	+0.07	$Q =$ 90.140 грамма
4.6	1.42	1.38	+0.04	Sp. = 85.7%
2.6	0.75	0.78	—0.03	
2 { 10.4	3.15	3.11	+0.04	
8.4	2.52	2.51	+0.01	$\tau =$ 0.2998
6.4	1.87	1.91	—0.04	$\lambda =$ 35.298
4.4	1.27	1.31	—0.04	$Q =$ 90.146 грамма
2.4	0.70	0.72	—0.02	

В среднем из обоих рядов (D): $\tau = 0.3002$, $\lambda = 35.318$ $Q = 90.143$ грамма, Sp. = 85.7%.

Нейзильбер II

(E)

Ток 15.35.

Нагревание	Время нагревания			
	наблюдено	вычислено	разность	
1 { 10.4	9.52	9.53	—0.01	
8.4	7.70	7.70	0.00	$\tau =$ 0.9162
6.4	5.87	5.87	0.00	$\lambda =$ 22.088
4.4	4.03	4.03	0.00	$Q =$ 90.360 грамма
2.4	2.17	2.20	—0.03	Sp. = 86.4%
2 { 10.4	9.60	9.64	—0.04	
8.4	7.82	7.79	+0.03	$\tau =$ 0.9216
6.4	5.93	5.93	0.00	$\lambda =$ 22.095
4.4	4.10	4.08	+0.02	$Q =$ 90.309 грамма
2.4	2.22	2.22	0.00	

В среднем из обоих рядов (E): $\tau = 0.9189$, $\lambda = 22.091$, $Q = 90.335$ грамма, Sp. = 86.4%.

(F)

Ток 20.85.

Нагревание		Время нагревания: наблюдено	вычислено	разность	
1	10.4	4.97	4.97	0.00	
	8.4	4.00	4.02	−0.02	$\tau = 0.4782$
	6.4	3.08	3.06	+0.02	$\lambda = 22.053$
	4.4	2.10	2.10	0.00	$Q = 90.172$ грамма
	2.4	1.15	1.15	0.00	Sp. = 86.4%
2	10.4	5.10	5.10	0.00	
	8.4	4.12	4.12	0.00	$\tau = 0.4843$
	6.4	3.13	3.14	−0.01	$\lambda = 22.039$
	4.4	2.15	2.16	+0.01	$Q = 90.254$ грамма
	2.4	1.17	1.18	−0.01	

В среднем из обоих рядов (F): $\tau = 0.4813$, $\lambda = 22.046$, $Q = 90.213$ грамма, Sp. = 86.4%.

(G)

Ток 26.71.

Нагревание		Время нагревания: наблюдено	вычислено	разность	
1	10	2.88	2.89	−0.01	
	8	2.32	2.31	+0.01	$\tau = 0.2891$
	6	1.72	1.73	−0.01	$\lambda = 22.171$
	4	1.18	1.16	+0.02	$Q = 90.186$ грамма
	2	0.60	0.58	+0.02	Sp. = 86.4%
2	10.4	2.98	2 98	0.00	
	8 4	2.42	2.40	+0.02	$\tau = 0.2876$
	6.4	1.82	1.83	−0.01	$\lambda = 22.186$
	4.4	1.25	1.26	−0.01	$Q = 90.286$ грамма
	2.4	0.65	0.69	−0.04	

В среднем из обоих рядов (G): $\tau = 0.2883$, $\lambda = 22.178$, $Q = 90.236$ грамма, Sp. = 86.4%.

(H)

Ток 20.85.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	10.8	4.73	4.77	−0.04	$\tau = 0.4421$
	8.8	3.90	3.89	+0.01	$\lambda = 22.525$
	6.8	3.03	3.01	+0.02	$Q = 89.850$ грамма
	4.8	2.15	2.12	+0.03	Sp. = 85.2%
	2.8	1.27	1.24	+0.03	
2	10.8	5.02	5.02	0.00	
	8.8	4.05	4.09	−0.04	$\tau = 0.4646$
	6.8	3.18	3.16	+0.02	$\lambda = 22.660$
	4.8	2.28	3.23	+0.05	$Q = 90.090$ грамма
	2.8	1.28	1.30	−0.02	
3	12.6	5.83	5.86	−0.03	
	10.6	5.00	4.93	+0.07	
	8.6	4.00	4.00	0.00	$\tau = 0.4647$
	6.6	3.00	3.08	−0.08	$\lambda = 22.660$
	4.6	2.12	2.14	−0.02	$Q = 89.906$ грамма
	2.6	1.22	1.21	+0.01	

В среднем из 3 рядов (H): $\tau = 0.4571$, $\lambda = 22.615$, $Q = 89.949$ **грамма**, Sp. = 85.2%.

Нейзильбер III

(K)

Ток 26.71.

Нагревание		Время нагревания: наблюдено	Время нагревания: вычислено	Время нагревания: разность	
1	11.2	4.25	4.31	—0.06	
	9.2	3.55	3.54	+0.01	$\tau = 0.3850$
	7.2	2.80	2.77	+0.03	$\lambda = 16.817$
	5.2	2.03	2.00	+0.03	$Q = 89.928$ грамма
	3.2	1.28	1.23	+0.05	Sp. = 85.9%
	1.2	0.48	0.46	+0.02	
2	11.4	4.30	4.34	—0.04	
	9.4	3.60	3.58	+0.02	
	7.4	2.82	2.82	0.00	$\tau = 0.3808$
	5.4	2.07	2.06	+0.01	$\lambda = 16.831$
	3.4	1.33	1.29	+0.04	$Q = 89.994$ грамма
	1.4	0.55	0.53	+0.02	
3	11.6	4.38	4.42	—0.04	
	9.6	3.62	3.66	—0.04	
	7.6	2.95	2.90	+0.05	$\tau = 0.3850$
	5.6	2.18	2.13	+0.05	$\lambda = 16.642$
	3.6	1.40	1.37	+0.03	$Q = 90.078$ грамма
	1.6	0.63	0.61	+0.02	

В среднем из всех 3 рядов (K): $\tau = 0.3836$, $\lambda = 16.763$, $Q = 90.000$ грамма, Sp. = 85.9%.

Платина

(L)

Ток 20.85.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	10.4	5.78	5.75	+0.03	$\tau =$ 0.5534
	8.4	4.63	4.65	−0.02	$\lambda =$ 18.976
	6.4	3.55	3.54	+0.01	$Q =$ 89.838 грамма
	4.4	2.42	2.43	+0.01	Sp. = 85.2%
	2.4	1.28	1.33	−0.05	
2	10.4	5.78	5.78	0.00	
	8.4	4.68	4.67	+0.01	$\tau =$ 0.5558
	6.4	3.55	3.56	−0.01	$\lambda =$ 18.956
	4.4	2.43	2.44	−0.01	$Q =$ 90.044 грамма
	2.4	1.32	1.33	−0.01	

В среднем из обоих рядов (L): $\tau = 0.5546$, $\lambda = 18.966$, Q = 89.941 грамма, Sp. = 85.2%.

(M)

Ток 26.71.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	10	3.22	3.24	−0.02	
	8	2.58	2.59	−0.01	$\tau =$ 0.3244
	6	1.97	1.95	+0.02	$\lambda =$ 19.332
	4	1.35	1.30	+0.05	$Q =$ 90.597 грамма
	2	0.65	0.65	0.00	Sp. = 85.2%
2	10.4	3.35	3.38	−0.03	
	8.4	2.73	2.73	0.00	$\tau =$ 0.3253
	6.4	2.10	2.08	+0.02	$\lambda =$ 19.144
	4.4	1.48	1.43	+0.05	$Q =$ 90.214 грамма
	2.4	0.78	0.78	0.00	

В среднем из обоих рядов (M): $\tau = 0.3248$, $\lambda = 19.238$, $Q = 90.405$ грамма, Sp. = 85.2%.

Железная спираль

(N)

Ток 33.08.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	9.2				
	7 2	4.03	4.04	—0.01	$\tau =$ 0.4391
	5.2	3.20	3.16	+0.04	$\lambda =$ 9.105
	3.2	2.28	2.28	0.00	$Q =$ 89.204 грамма
	1.2	1.33	1.40	—0.02	Sp. = 85.3%
		0.47	0.53	—0.06	
2	10.8				
	8.8				
	6.8	4.65	4.67	—0.02	
	4.8	3.82	3.81	+0.01	$\tau =$ 0.4329
	2.8	2.97	2.94	+0.03	$\lambda =$ 9.578
		2.08	2.08	0.00	$Q =$ 89.779 грамма
3	11.4	1.22	1.21	+0.01	
	9.4				
	7.4				
	5.4	4.97	4.95	+0.02	
	3.4	4.07	4.08	—0.01	
	1.4	3.18	3.21	—0.03	$\tau =$ 0.4339
		2.32	2.34	—0.02	$\lambda =$ 9.417
		1.57	1.47	+0.10	
		0.67	0.61	+0.06	

В среднем из 3 рядов (N): $\tau = 0.4353$, $\lambda = 9.367$, $Q = 89.492$ **грамма, Sp.** = 85.3%.

Медная спираль

(P)

Ток 26.71.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	8.8	11.67	11.53	+0.09	
	6.8	8.87	8.95	—0.08	$\tau =$ 1.316
	4.8	6.28	6.32	—0.04	$\lambda =$ 5.233
	2.8	3.68	3.68	0.00	$Q =$ 90.187 грамма
	0.8	1.07	1.05	+0.02	Sp. = 86.4%
2	8.6	11.05	11.06	—0.01	
	6.6	8.52	8.49	+0.03	$\tau =$ 1.286
	4.6	5.95	5.92	+0.03	$\lambda =$ 5.213
	2.6	3.27	3.34	—0.07	$Q =$ 90.195 грамма
	0.6	0.80	0.77	+0.03	

В среднем из обоих рядов (P): $\tau = 1.301$, $\lambda = 5.225$, $Q = 90.191$ грамма, Sp. = 86.4%.

(Q)

Ток 33.08.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	10.8	9.00	9.00	0.00	
	8.8	7.30	7.33	—0.03	$\tau =$ 0.8335
	6.8	5.67	5.67	0.00	$\lambda =$ 5.236
	4.8	4.05	4.00	+0.05	$Q =$ 89.781 грамма
	2.8	2.38	2.33	+0.05	Sp. = 86.4%
2	10.8	9.02	9.04	—0.02	
	8.8	7.40	7.37	+0.03	$\tau =$ 0.8373
	6.8	5.73	5.69	+0.04	$\lambda =$ 5.210
	4.8	4.07	4.02	+0.05	$Q =$ 89.950 грамма
	2.8	2.33	2.34	—0.01	

В среднем из обоих рядов (Q): $\tau = 0.8354$, $\lambda = 5.223$, $Q = 89.866$ грамма, Sp. = 86.4%.

(R)

Ток 40.12.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	9.4	5.40	5.39	+0.01	
	7.4	4.22	4.24	—0.02	$\tau = 0.5729$
	5.4	3.12	3.09	+0.03	$\lambda = 5.226$
	3.4	1.92	1.95	—0.03	$Q = 89.641$ грамма
	1.4	0.75	0.80	—0.05	Sp. = 86.4%
2	12.2	6.97	7.04	—0.07	
	10.2	5.95	5.89	+0.06	
	8.2	4.78	4.73	+0.05	$\tau = 0.5771$
	6.2	3.57	3.58	—0.01	$\lambda = 5.238$
	4.2	2.42	2.42	0.00	$Q = 89.853$ грамма
	2.2	1.25	1.27	—0.02	

В среднем из обоих рядов (R): $\tau = 0.5750$, $\lambda = 5.232$, $Q = 89.747$ грамма, Sp. = 86.4%.

(S)

Ток 48.07.

Нагревание		Время нагревания			
		наблюдено	вычислено	разность	
1	10.4	3.95	3.94	+0.01	
	3.4	3.18	3.19	—0.01	$\tau = 0.3793$
	6.4	2.43	2.43	0.00	$\lambda = 5.268$
	4.4	1.68	1.67	+0.01	$Q = 89.768$ грамма
	2.4	0.88	0.91	—0.01	Sp. = 86.4%
2	10.6	4.07	4.06	+0.01	
	8.6	3.28	3.29	—0.01	$\tau = 0.3826$
	6.6	2.53	2.52	+0.01	$\lambda = 5.267$
	4.6	1.75	1.76	—0.01	$Q = 90.190$ грамма
	2.6	0.98	0.99	—0.01	

В среднем из обоих рядов (S): $\tau = 0.3810$, $\lambda = 5.267$, $Q = 89.979$ грамма, Sp. = 86.4%.

С другим спиртом и гораздо раньше был получен следующий ряд:

(T)

Ток 40.12.

Нагревание		Время нагревания: наблюдено	Время нагревания: вычислено	Время нагревания: разность	
1	11	5.90	5.96	-0.06	
	9	4.90	4.88	+0.02	$\tau = 0.5421$
	7	3.82	3.79	+0.03	$\lambda = 5.341$
	5	2.78	2.71	+0.07	$Q = 90.237$ грамма
	3	1.62	1.63	—0.01	Sp. = 85.1%
	1	0.58	0.54	+0.04	
2	12	6.53	6.50	+0.03	
	10	5.42	5.42	0.00	$\tau = 0.5419$
	8	4.30	4.33	—0.03	$\lambda = 5.406$
	6	3.25	3.25	0.00	$Q = 90.174$ грамма
	4	2.22	2.17	+0.05	
	2	1.05	1.08	-0.03	
3	12.6	6.78	6.85	—0.07	
	10.6	5.78	5.76	+0.02	$\tau = 0.5438$
	8.6	4.70	4.68	+0.02	$\lambda = 5.392$
	6.6	3.65	3.59	+0.06	$Q = 90.544$ грамма
	4.6	2.52	2.50	+0.02	
	6.2	1.43	1.41	+0.02	

В среднем из 3 рядов (T): $\tau = 0.5426$, $\lambda = 5.380$, $Q' = 90.319$ грамма, Sp. = 85.1%.

Среди многих моих первоначальных наблюдений, когда нагреваемой жидкостью служила вода, имеются некоторые наблюдения с нейзильберовой проволокой, когда нельзя было заметить никакого разложения воды, т. е. когда можно было принять, что весь ток шел через металлическую катушку; поверхность этой проволоки была черноватой от прокаливания до протягивания. Приводим эти ряды наблюдений:

Нейзильбер

Ток 57.29.

Нагревание	Время нагревания: наблюдено	Время нагревания: вычислено	Время нагревания: разность	
11.7	7.52	7.38	+0.14	
10.0	6.25	6.31	—0.06	$\tau=$ 0.6314
8.0	4.90	5.05	—0.15	$\lambda=$ 4.220
6.0	3.80	3.79	+0.01	$Q=$ 105.889 грамма
4.0	2.58	2.53	+0.05	
2.0	1.25	1.26	—0.01	

Ток 48.07.

	Нагревание	наблюдено	вычислено	разность	
1	12.52	10.83	10.82	+0.01	
	8.08	6.92	6.98	—0.06	$\tau=$ 0.8540
	6.03	5.33	5.26	+0.07	$\lambda=$ 4.22
	4.08	3.50	3.53	—0.03	$Q=$ 105.86 грамма
	2.00	1.75	2.02	—0.27	
2	10	8.75	8.92	—0.17	
	8	7.25	7.13	+0.12	$\tau=$ 0.8917
	6	5.42	5.35	+0.07	$\lambda=$ 4.240
	4	3.58	3.57	+0.01	$Q=$ 105.35 грамма
	2	1.92	1.78	+0.14	

В среднем из рядов 1 и 2: $\tau=0.8778$, $\lambda=4.23$, $Q=105.60$.

Продолжение

Нагревание	Время нагревания			
	наблюдено	вычислено	разность	
Ток 40.12.				
10.9	14.00	13.90	—0.10	
9.8	12.42	12.47	—0.05	
7.8	9.92	9.98	—0.06	$\tau=$ 1.273
5.8	7.25	7.38	—0.13	$\lambda=$ 4.237
3.8	4.92	4.84	+0.03	$Q=105.921$ грамма
1.8	2.25	2.29	—0.04	
Ток 33.08.				
10.3	19.50	19.36	+0.14	
7.2	13.33	13.53	—0.20	$\tau=$ 1.880
5.2	9.83	9.77	+0.06	$\lambda=$ 1.527
3.2	5.97	6.01	—0.04	$Q=105.401$ грамма
1.2	2.28	2.26	+0.02	
Ток 20.85.				
7.2	35.42	35.21	+0.21	$\tau=$ 4.8901
5.2	25.33	25.43	—0.10	$\lambda=$ 4.206
3.2	15.33	15.63	+0.30	$Q=105.924$ грамма
1.2	5.83	5.87	—0.04	

22

При рассмотрении выделения тепла в проволоке при прохождении гальванического тока мы можем делать естественное предположение, что оно обусловлено тремя обстоятельствами: 1) электрическим сопротивлением проводов, 2) природой металла проволоки, 3) силой тока.

Так как во всех прочих гальванических явлениях различная природа металла проволоки влияет только через различие сопротивлений, то было естественно предположить, что и здесь дело обстоит таким же образом, и исследовать, не сливаются ли в одно указанные выше первое и второе условия. Поэтому сначала я разберу вопрос о влиянии на явление сопротивления проволок и совершенно не буду касаться природы проволок.

Прежде чем воспользоваться пригодными для этого наблюдениями, следует заметить, что строго говоря, опыты с проволоками различных сечений и из различных металлов нельзя сравнивать непосредственно, так как нагревание жидкости изменяется также и в зависимости от массы и теплоемкости самых проволок, которые ведь тоже нагреваются. Но легко показать, что в наших опытах это обстоятельство сказывается так мало, что им с полным правом можно пренебречь. В самом деле, рассмотрим это влияние в том случае, когда оно имеет наибольшее значение, а именно при самой толстой нейзильберовой проволоке III, вес которой равен 0.572 грамма. Так как я нигде не мог найти данных относительно удельной теплоты нейзильбера, то, по аналогии с другими металлами, я принимаю ее равною 0.1; теплоемкость спирта равной 0.7; тогда вес массы спирта, эквивалентной проволоке в смысле нагревания, равен 0.081 грамма. Масса применяемого в опытах спирта в среднем составляет $Q = 90$ граммам; массу стекла P можно принять равною 28 граммам (по его весу и считая, что удельная теплота стекла равна 0.177). Таким образом, имеем $P + Q = 118$ граммам: приведенная масса проволоки (0.081 грамма) составляет лишь $\frac{1}{1450}$ часть этой величины. Для другой более тонкой проволоки эта величина еще меньше; *разность* в этих малых величинах должна сказаться на результатах в такой малой степени, что мы с полным правом можем не принимать во внимание различие теплоемкостей самых проволок.

В различных опытах, сравнение результатов которых приводится далее, мы имеем несколько отличающиеся значения Q,

но разности настолько малы, в особенности для одного и того же тока, что я не буду принимать их во внимание и буду пользоваться значениями τ, непосредственно получаемыми из опыта, из данных § 21, и сопоставлю те результаты, которые получены при одинаковых токах; буквы в скобках соответствуют буквам в § 21 и обозначают серии опытов.

Для тока 15.35

(C)	Нейзильбер I	$\tau = 0.5711$	$\lambda = 35.20$	$Q = 90.02$
(E)	„ II	$\tau = 0.9189$	$\lambda = 22.09$	$Q = 90.35$

Для тока 20.85

(D)	Нейзильбер I	$\tau = 0.3002$	$\lambda = 35.32$	$Q = 90.14$
(F)	„ II	$\tau = 0.4813$	$\lambda = 22.05$	$Q = 90.21$
(L)	Платина	$\tau = 0.5546$	$\lambda = 18.97$	$Q = 89.94$

Для тока 26.71

(G)	Нейзильбер II	$\tau = 0.2883$	$\lambda = 22.18$	$Q = 90.24$
(K)	„ III	$\tau = 0.3836$	$\lambda = 16.76$	$Q = 89.97$
(M)	Платина	$\tau = 0.3248$	$\lambda = 19.24$	$Q = 90.40$
(P)	Медь	$\tau = 1.3010$	$\lambda = 5.22$	$Q = 90.19$

Для тока 33.08

(N)	Железная проволока	$\tau = 0.4353$	$\lambda = 9.37$	$Q = 89.49$
(Q)	Медная проволока	$\tau = 0.8354$	$\lambda = 5.22$	$Q = 89.82$

При сопоставлении значения τ и соответствующих им для того же тока значений λ сразу видно, что τ растет при уменьшении λ; если мы предположим, что они обратно пропорциональны, то $\tau\lambda$ должно для всех наблюдений при одном и том же токе иметь постоянное значение. Приводим эти значения:

Для тока 15.35

(C)	Нейзильбер I	$\tau\lambda = 20.10$
(E)	„ II	$\tau\lambda = 19.84$

28*

Для тока 20.85

(D)	Нейзильбер I	$\tau\lambda = 10.60$
(F)	„ II	$\tau\lambda = 10.61$
(L)	Платина	$\tau\lambda = 10.52$

Для тока 26.71

(G)	Нейзильбер II	$\tau\lambda = 6.394$
(K)	„ III	$\tau\lambda = 6.429$
(M)	Платина	$\tau\lambda = 6.249$
(P)	Медь	$\tau\lambda = 6.791$

Для тока 33.08

(N)	Железо	$\tau\lambda = 4.079$
(Q)	Медь	$\tau\lambda = 4.361$

Постоянство значений $\tau\lambda$ для одного и того же тока бросается в глаза; этим вполне подтверждается наше предположение о том, что время нагревания обратно пропорционально сопротивлению тел, что нагревания в определенные промежутки времени ему прямо пропорционильны и не зависят как-либо иначе от природы металла. Впрочем, я признаю, что число наблюдений, именно служащих для решения вопроса о влиянии природы металла, слишком мало; но трудно поставить опыты так, чтобы при одинаковых токах сопротивления сильно отличались друг от друга, между тем как тогда при хороших проводниках время нагревания так удлиняется, что наблюдения становятся ненадежными (вследствие влияния температуры окружающей среды); наоборот, при очень больших сопротивлениях нагревание протекает так быстро, что наблюдения становятся невозможными. Но более полное подтверждение нашего результата мы получим далее, когда будем в состоянии сравнивать друг с другом наблюдения при различных силах тока также и в отношении проводимости.

23

Для того чтобы определить зависимость *нагревания* от силы тока, мы должны сопоставить опыты с одной и той же проволокою

при различных токах. Так, для начала можно привести следующие данные (F — сила тока):

Для нейзильбера I

(B)	$F=10.10$	$\tau=1.3495$	$\lambda=35.15$	$Q=89.97$
(A)	$F=15.35$	$\tau=0.5272$	$\lambda=36.67$	$Q=89.67$
(C)	$F=15.35$	$\tau=0.5711$	$\lambda=35.20$	$Q=90.02$
(D)	$F=20.85$	$\tau=0.3002$	$\lambda=35.32$	$Q=90.14$

В наблюдениях (A) и (C), произведенных с одной и той же проволокою, значения сопротивления λ все же сильно разнятся друг от друга. Это происходит от того, что эти 2 ряда по времени наблюдения отстоят далеко друг от друга; возможно, что при многократном вставлении проволоки в прибор кусок ее отломился, или что в одном случае больший участок катушки оказывался зажатым в платиновый конус, чем в другом. Можно было бы по результатам предыдущего параграфа наблюденное значение времени τ в ряде (A) привести к сопротивлению 35.2, тогда получилось бы $\tau=0.5497$; однако, так как и крепость спирта была различна, я предпочитаю совсем опустить ряд (A) и подвергнуть рассмотрению только 3 остающихся ряда, для которых прочие условия опыта, кроме токов, можно считать совершенно одинаковыми.

При первом взгляде видно, что времена τ стоят в обратном отношении с силами тока F, иначе говоря, нагревание тем сильнее, чем больше ток; но сейчас же выясняется, что первые растут в гораздо более сильной степени, чем просто в отношении сил токов. Предположим, что времена нагревания τ обратно пропорциональны *квадратам* сил тока, тогда, очевидно, произведения $F^2\tau$ для всех катушек с одной и той же проволокой должны иметь постоянные значения. Получаем следующий ряд:

Из (B) $F^2\tau=137.7$,
„ (C) $F^2\tau=134.5$,
„ (D) $F^2\tau=130.5$.

Эти числа действительно достаточно близки друг к другу.

Я определю значения $F^2\tau$ и для прочих рядов, находящихся в нашем распоряжении; при этом я опущу значения λ и Q, так как они настолько близки друг другу, что их можно считать равными. Таким путем получаем:

Для нейзильбера II

(E)	$F = 15.35$	$\tau = 0.9189$	$F^2\tau = 216.5$
(F)	$F = 20.85$	$\tau - 0.4813$	$F^2\tau = 209.1$
(G)	$F = 28.71$	$\tau = 0.2883$	$F^2\tau = 205.7$

Для платины

(L)	$F = 20.85$	$\tau = 0.5546$	$F^2\tau = 241.1$
(M)	$F = 26.71$	$\tau = 0.3248$	$F^2\tau = 231.7$

Для меди

(P)	$F = 26.71$	$\tau = 1.3010$	$F^2\tau = 928.2$
(Q)	$F = 33.08$	$\tau = 0.8354$	$F^2\tau = 914.2$
(R)	$F = 40.12$	$\tau = 0.5750$	$F^2\tau - 925.5$
(S)	$F = 48.07$	$\tau = 0.3810$	$F^2\tau = 880.4$

Только один результат ряда (S) отличается по величине от прочих; по какой причине — сказать трудно.

Наконец, я воспользовался теми рядами, которые я получил для нейзильберовой катушки в воде; вот они:

$F = 20.85$	$\tau = 4.8901$	$F^2\tau = 2126$
$F = 33.08$	$\tau = 1.8800$	$F^2\tau = 2057$
$F = 40.12$	$\tau = 1.2730$	$F^2\tau = 2049$
$F = 48.07$	$\tau = 0.8640$	$F^2\tau = 2038$
$F = 57.29$	$\tau = 0.6314$	$F^2\tau = 2072$

Во всех этих случаях постоянство значений произведения $F^2\tau$ настолько очевидно, что мы вправе считать доказанным на опыте положение, что выделение тепла пропорционально квадрату тока, и этот закон подтвердится еще лучше, когда мы привлечем для этой цели всю совокупность наблюдений.

24

Итак, если мы примем по § 22, что выделение тепла током зависит от природы металла, из которого состоит проволока, лишь постольку, поскольку от нее зависят сопротивления, то мы получим в (§§ 21 и 23) следующие положения:

1) выделение тепла пропорционально сопротивлению проволоки,

2) выделение тепла пропорционально квадратам токов.

Имея в виду эти законы, мы можем теперь воспользоваться всеми произведенными опытами, чтобы вычислить из них время, потребное при токе, равном 1, и при сопротивлении, равном 1, для нагревания определенной массы спирта на 1°. Разделив затем это число на квадраты наблюденных токов и на наблюденные сопротивления, мы получим времена нагревания для наших наблюдений; их сравнение с непосредственно наблюденными временами даст нам средство еще точнее проверить наш закон. Сначала, однако, я приведу все наблюденные значения τ к одной и той же массе спирта. Из предыдущего мы знаем, что если прибавить к средней отвешенной массе спирта Q массу стекла P, приведенную к теплоемкости массы спирта Q, то получим для массы подлежащего нагреванию спирта величину

$$P+Q=118 \text{ граммов.}$$

Если мы примем, что время нагревания этой массы спирта на 1° R при токе, равном 1, и при сопротивлении, равном 1, равно θ, то для времени τ, для тока F и сопротивления λ получаем

$$\tau=\frac{\theta}{\lambda F^2},$$

и вот для τ и коэффициента $\frac{1}{\lambda F^2}$ имеется 16 хороших наблюдений, которые, комбинированные по способу наименьших квадратов, дадут нам искомую величину θ. Сравнивая значения τ, вычисленные по формуле $\frac{\theta}{\lambda F^2}$ и непосредственно наблюденные, я получаю разности, которые дают возможность судить о степени пригодности двух установленных ранее законов.

Сводку величин имеем в нижеследующей таблице:

Обозначения рядов	F	λ	τ	$P+Q$, грамм	τ приведенное к $P+Q=118$	τ вычисленное	Разность
(B)	10.10	35.15	1.3459	118.0	1.3500	1.3240	+0.0260
(E)	15.35	22.09	0.9189	118.3	0.9166	0.9122	+0.0044
(C)	15.35	35.20	0.5711	118.0	0.5711	0.5727	—0.0016
(A)	15.35	36.67	0.5272	117.7	0.5236	0.5496	—0.0210
(L)	20.85	18.97	0.5546	117.9	0.5555	0.5755	—0.0200
(F)	20.85	22.05	0.4813	118.2	0.4805	0.4951	—0.0146
(H)	20.85	22.62	0.4571	117.9	0.4575	0.4828	—0.0253
(D)	20.85	35.32	0.3002	118.1	0.2999	0.3091	—0.0092
(G)	26.71	22.18	0.2883	118.2	0.2878	0.2999	—0.0121
(P)	26.71	5.22	0.3010	118.2	4.2990	1.2740	+0.0250
(M)	26.71	19.24	0.3248	118.4	0.3237	0.3458	—0.0221
(K)	26.71	16.76	0.3836	118.0	0.3836	0.3970	—0.0134
(Q)	33.08	5.22	0.8354	117.9	0.8362	0.8314	+0.0048
(N)	33.08	9.37	0.4353	117.5	0.4372	0.4633	—0.0261
(R)	40.12	5.23	0.5750	117.7	0.5765	0.5639	+0.0126
(T)	40.12	5.38	0.5436	118.3	0.5423	0.5484	—0.0061

Из этих данных получилось

$$\theta = 4748.3 \text{ секунды.}$$

Положим, на основании сказанного, массу подвергавшегося нагреванию спирта равной 118 граммам, его теплоемкость равной 0.7 по отношению к воде; тогда время нагревания 1 грамма воды на 1° R при силе тока, равной 1, и сопротивлении, равном 1, получается равным $5^3/_4$ секунды.

Это — только приближенный результат; он может служить только для совсем грубых подсчетов, так как ни абсолютное

количество спирта, ни его теплоемкость не были определены достаточно точно. Мои нынешние опыты имели только ту цель, чтобы установить закон нагревания металлических проволок; для точного определения абсолютных значений этого нагревания я еще надеюсь поставить особые опыты.

Незначительная величина разностей в нашей таблице, равно как неправильное распределение их знаков не дают теперь никаких оснований сомневаться в правильности законов, помещенных в основу вычислений; мы имеем таким образом в результате всех наших исследований следующие два положения:

1. *Нагревание проволоки гальваническим током пропорционально сопротивлению проволоки.*

2. *Нагревание проволоки гальваническим током пропорционально квадрату служащего для нагревания тока.*

25

Я воспользуюсь теперь этими законами для решения некоторых задач, могущих возникнуть при выделении тепла гальваническим током в проволоках.

1. *Даны: определенный объем металла, а также определенная поверхность цинка с соответственной поверхностью меди (или платины) для устройства гальванической цепи; каково должно быть расположение того и других, чтобы в объеме металла развивалось возможно большее количество тепла?*

Обозначим объем металла через v, поверхность цинка через s, сопротивление единицы цинковой и соответственно медной (или платиновой) поверхности — через λ, диаметр проволоки, которая была бы вытянута из объема металла — через z,. сопротивление этой проволоки длины 1 и сечения 1 через L, число пластин, на которые разрезана поверхность цинка, — через x, электродвижущую силу пары цепи — через k; тогда, если π

означает известное отношение полуокружности к радиусу, мы имеем:

длина проволоки, вытянутой из металла, $= \frac{4v}{\pi z^2}$,

следовательно, сопротивление этой проволоки $= \frac{4Lv}{\pi z^4}$,

поверхность каждого элемента цепи $= \frac{s}{x}$,

сопротивление всех гальванических элементов $= \frac{\lambda x^2}{\rho s}$.

Следовательно, сила тока в цепи

$$F = \frac{kx}{\frac{\lambda x^2}{s} + \frac{4Lv}{\pi z^4}} = \frac{\pi s k x z^4}{\pi \lambda x^2 z^4 + 4Lvs}.$$

Если обозначить через w тепло, выделяемое в проволоке при сопротивлении 1 и токе 1 в единицу времени, то по вышеприведенным законам получаем для количества тепла W, выделенного в нашей проволоке в единицу времени, выражение

$$W = wF^2 \frac{4Lv}{\pi z^4} = c \frac{x^2 z^4}{(ax^2 z^4 + b)^2},$$

где для краткости положим $c = 4Lvw\pi s^2 k^2$, $a = \pi\lambda$ и $b = 4Lvs$.

Найдем теперь значения x и z, для которых количество тепла имеет максимум; дифференцируя, получаем

$$\frac{dW}{dx} = 0, \text{ когда } 0 = ax^2 z^4 - b; \quad \frac{dW}{dz} = 0, \text{ когда } 0 = ax^2 z^4 - b.$$

Тождественность этих выражений показывает, что максимум мы можем получить бесчисленным количеством способов, если для какого-либо сечения z разрежем цинковую поверхность так, что

$$z^4 = \frac{b}{ax^2}.$$

Для такого расположения самое количество тепла получает значение

$$W_{\max} = \frac{1}{4} \frac{c}{ab} = \frac{1}{4} \frac{wsk^2}{\lambda},$$

т. е. в предположении наиболее выгодного устройства всей цепи выделяющееся количество тепла прямо пропорционально *поверхности цинка* и *квадрату электродвижущей силы* и обратно пропорционально *сопротивлению единицы* поверхности гальванических элементов; но она не зависит от v и от L, т. е. от объема и от природы металла; отсюда выходит замечательное следствие:

при наиболее выгодном устройстве цепи, в любом объеме любого металла при той же площади цинковой поверхности выделяется одинаковое количество тепла.

Следует еще заметить, что если значение $z^4 = \frac{b}{ax^2} = \frac{4Lvs}{\pi\lambda x^2}$, при котором выделяется максимальное количество тепла, подставить в вышенайденное выражение для сопротивления проволоки, т. е. в $\frac{4Lv}{\pi z^4}$, то для этого сопротивления получаем выражение $\frac{\lambda x^2}{s}$, т. е. сопротивление гальванической батареи; таким образом, и здесь сохраняет значение правило, которое можно доказать для всей области гальванизма, что при наивыгоднейшем для выделения тепла устройстве цепи сопротивление нагреваемой проволоки должно быть равно сопротивлению гальванической батареи.

2. *Как построить цепь при данном объеме металла и данной поверхности цинка, чтобы проволока, вытянутая из этого куска металла, накаливалась наиболее сильно?*

Когда проволока постепенно нагревается все сильней и сильней и, наконец, доходит до наибольшего накаливания, то температура в ней становится постоянной, т. е. тепло, теряемое при соприкосновении проволоки с холодным воздухом и путем излучения, равно теплу, приобретаемому от проходящего через нее гальванического тока; наша задача заключается, следовательно, в том, чтобы определить ту температуру, при которой выполняется это условие.

Пусть T — превышение температуры проволоки над температурой окружающей среды, E — потеря тепла проволокой в еди-

ницу времени, G — поверхность проволоки, ε — потеря тепла единицей этой поверхности при разности температур, равной 1; тогда можно положить

$$E=\varepsilon TG.$$

Но так как $G=\frac{4v}{z}$, то мы найдем, что

$$E=4v\varepsilon\frac{T}{z};$$

из предыдущей задачи количество тепла, выделяемое током в единицу времени, равно

$$W=c\frac{x^2z^4}{(ax^2z^4+b)^2}.$$

Следовательно, условие неизменности температуры проволоки оказывается выполненным, если

$$c\cdot\frac{x^2z^4}{(ax^2z^4+b)^2}=4v\varepsilon\frac{T}{z},$$

откуда получаем

$$T=\frac{c}{4v\varepsilon}\cdot\frac{x^2z^5}{(ax^2z^4+b)^2}=c'\frac{x^2z^5}{(ax^2z^4+b)^2},$$

где

$$c'=\frac{c}{4v\varepsilon}=\frac{Lw\pi s^2k^2}{\varepsilon},\quad a=\pi\lambda,\ b=4Lvs.$$

Чтобы определить условие максимума T, имеем

$$\frac{dT}{dz}=0 \text{ при } 5b-3ax^2z^4=0;$$

$$\frac{dT}{dx}=0 \text{ при } b-ax^2z^4=0.$$

Так как невозможно удовлетворить одновременно обоим уравнениям, то максимум T невозможен; и действительно, можно видеть, что так как для каждого сечения проволоки гальванические элементы могут быть расположены таким образом, чтобы достигалось то же самое максимальное выделение тепла, то для накаливания будет тем более выгодно, чем меньше поверхность G, т. е. чем меньше $\frac{4v}{z}$ или чем больше диаметр проволоки.

3. *Для накаливания проволоки определенного диаметра и длины l требуется цепь из n пар; сколько таких же пар*

нужно для накаливания проволоки того же диаметра, но длины pl?

Пусть сопротивление пары равно L, электродвижущая сила пары равна k, сопротивление единицы длины проволоки при том же диаметре равно 1; тогда сопротивление всей проволоки равно λ, ток для длины l

$$F = \frac{nk}{nL + l};$$

следовательно, количество тепла, выделяемое в единицу времени,

$$W = w\frac{n^2 k^2}{(nL + l)^2} l,$$

а нагревание единицы длины равно

$$\frac{W}{l} = w\frac{n^2 k^2}{(nL + l)^2}.$$

Для длины pl эта величина

$$\frac{W_p}{pl} = w\frac{x^2 k^2}{(xL + pl)^2},$$

где x — искомое число гальванических элементов. При одинаковом накаливании обеих проволок в единице длины каждой из них должно в единицу времени развиваться одинаковое количество тепла, или должно быть

$$w\frac{n^2 k^2}{(nL + l)^2} = w\frac{x^2 k^2}{(xL + pl)^2},$$

откуда

$$x = np,$$

т. е. нужно взять во столько раз больше пар пластин, во сколько раз длиннее проволока.

4) ***Дана гальваническая батарея из n пар,*** с ***общим сопротивлением λ; требуется накалить проволоку длины l; при каком диаметре можно этого достигнуть наивыгоднейшим образом?***

Пусть искомый диаметр будет x, сопротивление проволоки данного металла при диаметре 1 и длине 1 пусть будет L.

Тогда, если ε и T имеют прежнее значение, сопротивление проволоки $=\frac{lL}{x^2}$, ток $F=\frac{nk^2x^2}{lx^2+lL}$.

Количество тепла, выделяемого в единицу времени, если

$$c=wlLn^2k^2,$$

$$=wF^2\frac{lL}{x^2}\cdot\frac{x^2}{(\lambda x^2+lL)^2}.$$

Поверхность проволоки $=x\pi l$, потеря тепла $=\varepsilon x\pi lT$, следовательно, при равномерном накаливании

$$\varepsilon x\pi lT=c\frac{x^2}{(\lambda x^2+lL)^2},$$

а, значит, температура накала

$$T=\frac{c}{\varepsilon\pi\lambda}\cdot\frac{x}{(\lambda x^2+lL)^2}=\frac{wLn^2k^2}{\varepsilon\pi}\frac{x}{(\lambda x^2+lL)^2}.$$

Для максимума

$$\frac{\partial T}{\partial x}=0,\ lL-3\lambda x^2=0,$$

следовательно

$$x=\sqrt{\frac{1}{3}\cdot\frac{lL}{\lambda}},$$

и отсюда

$$T_{max}=0.102\,\frac{w}{\varepsilon}\cdot\frac{n^2k^2}{\sqrt{\lambda Ll^3}}.$$

Если T'_{max} — температура накала, соответствующая длине проволоки l', то для диаметра x' имеем отношение

$$\frac{x}{x'}=\frac{\sqrt{l}}{\sqrt{l'}}\quad\text{и}\quad\frac{T^2_{max}}{T'^2_{max}}=\frac{l'^3}{l^3},$$

т. е., во-первых, при различных длинах диаметры относятся как корни квадратные длин; во-вторых, квадраты температур накаливания обратно пропорциональны кубам длин проволок.

ПРИЛОЖЕНИЯ



ЭМИЛИЙ ХРИСТИАНОВИЧ ЛЕНЦ

(Краткий биографический очерк)

Эмилий Ленц родился 12 февраля 1804 г. в Дерпте (теперешнем Тарту). Отец его был секретарем Городского магистрата. Учился Ленц сначала в местных частных школах, а потом в гимназии. 16 лет, по окончании гимназии, он поступил в Дерптский университет на химический факультет по рекомендации своего дяди, проф. Гизе. Гизе вскоре уехал за границу учиться и поручил Ленца вниманию проф. Паррота, впоследствии академика С.-Петербургской Академии Наук. Ленц по материальным соображениям перешел на богословский факультет, но работу по физике у Паррота не бросал. Видимо, Паррот уже в то время отметил большие способности Ленца.

Вскоре в жизни Ленца случилось событие, которое определило всю его дальнейшую судьбу. В Морском ведомстве в Петербурге было решено отправить в кругосветное плавание корабль „Предприятие" под командой капитана Коцебу.[1] Коцебу решил взять с собой нескольких ученых для производства научных исследований и обратился к Парроту за рекомендацией. Паррот рекомендовал Эмилия Ленца, которому в то время было 19 лет, на должность физика экспедиции.

---

[1] Это — третье кругосветное плавание О. Е. Коцебу; во втором (на бриге „Рюрик") в качестве естествоиспытателя принял участие известный немецкий писатель Шамиссо.

Плавание „Предприятия“ продолжалось 3 года (1823—1826). За это время Ленц произвел очень много исследований, касавшихся солености и температуры морской воды на разных глубинах и других физических проблем. Программа работы была выработана Парротом. В этих работах Ленц обнаружил исключительные способности к точному экспериментированию. Его работы того времени во многих отношениях могут считаться основой экспериментальной океанографии. Они замечательны по своей достоверности и точности и цитируются до настоящего времени. Адмирал Макаров, который и сам был выдающимся океанографом, говорил, что он, Макаров, доверяет данным Ленца больше, чем данным известной экспедиции на „Челленджере“, и даже больше, чем своим собственным данным.

Из экспедиции Ленц вернулся вполне сложившимся ученым — физиком и геофизиком. Путешествие на „Предприятии“ сыграло в его жизни такую же роль, как путешествие на корабле „Бигль“ в жизни Дарвина. Всякая мысль о богословии была оставлена. Дерптский университет Ленц не закончил, а прямо в 1827 г. защитил диссертацию на степень доктора философии при Гейдельбергском университете. Темой диссертации были результаты его океанографических исследований. Вскоре вслед за этим Ленц, по приглашению Паррота, приехал в Петербург. Здесь он непродолжительное время преподавал в средней школе. В 1828 г. Паррот представил в Академию работу Ленца „О солености и температурах воды океанов на разных глубинах“. 7 мая 1828 г. Ленц был избран адъюнктом Академии и вскоре после этого принял участие в большой экспедиции, предпринимавшейся в то время на горы Эльбрус и Кинжальную. Во время экспедиции Ленц поднялся почти до вершины Эльбруса и производил магнитные и гравиметрические наблюдения. После экспедиции он ездил в Баку и Николаев, где производил магнитные наблюдения по программе Гумбольдта, выполнявшейся в международном масштабе.

24 марта 1830 г. Ленц был избран экстраординарным, а 5 сентября 1834 г. — ординарным академиком. В Физическом кабинете Академии Наук проходит вся научная работа Ленца до самой его смерти. Общую оценку этой работы читатель найдет в отдельной статье настоящей книги.

Однако деятельность Ленца не ограничилась этой научной работой, поставившей его в первый ряд ученых того времени. Он развил также большую педагогическую и организационную деятельность и в этом направлении тоже обнаружил исключительные способности и талант. Он преподавал в ряде учебных заведений: Морском кадетском корпусе, Артиллерийской академии, Главном педагогическом институте, но основным местом его педагогической деятельности был С.-Петербургский университет. О его работе в С.-Петербургском университете, большой и успешной, надо сказать особо.

Академик Э. Х. Ленц был несомненно самым выдающимся представителем кафедры физики С.-Петербургского университета в прошлом XIX в.

С.-Петербургский университет был основан в 1819 г. В его составе имелся Физико-математический факультет. Для физики и химии при основании университета была предусмотрена только одна общая кафедра; но первые заведующие этой кафедрой (М. Ф. Соловьев, Н. П. Щеглов, а затем Н. Т. Щеглов) не оставили по себе памяти в науке.

Судя по архивным данным, преподавание физики в Университете в научном отношении стояло на низком уровне и требовало реформы. Новый устав Университета, так называемый „Устав 1835 г.“, и ставил себе эту задачу. В Университет были приглашены новые профессора, которые должны были поднять преподавание в Университете на должную высоту. Именно тогда, 31 декабря 1835 г., ординарным профессором по уже отделенной от химии особой кафедре физики был приглашен академик Э. Х. Ленц. Физика в то время читалась на 2-м отделении Философского факультета (новое название прежнего Физико-математического факультета). Однако это

название не привилось, и позднее, в 1852 г., было восстановлено прежнее — „Физико-математический факультет“.

В С.-Петербургском университете проявилась большая педагогическая и организаторская способность Ленца. Вскоре после его избрания профессором, в январе 1840 г., Ленц был избран деканом факультета; таковым он бессменно пребывал до 1863 г., когда был избран ректором Университета.

В течение своего продолжительного пребывания в Университете Ленц совершенно преобразовал весь учебный план, добился значительного повышения бюджета кафедры, пригласил механика, улучшил оборудование физического кабинета и оборудовал аудиторию кабинета, заботился о правильном пополнении библиотеки. Следует отметить то обстоятельство, что научной работы в Университете Ленц не вел. Эта работа, как указано ранее, велась им в Физическом кабинете Академии Наук.

Ленц был великолепным организатором и в том смысле, что умел ставить на научные места и давать дорогу наиболее талантливым профессорам. Нельзя не отметить, что в момент занятия им кафедры физики на факультете, кроме Ленца и Куторги — профессора-зоолога, не было ни одного сколько-нибудь выдающегося ученого. Именно в эпоху Ленца в составе Физико-математического факультета появились математики Буняковский и Чебышев, химики Воскресенский и Менделеев, и если научные заслуги этих знаменитых ученых принадлежат им самим, то образование факультета из знаменитых ученых представляет все же в известной степени заслугу декана. Физико-математическому факультету С.-Петербургского университета таким, каким он был в 60-е годы XIX в., мог позавидовать любой иностранный университет. Когда в 1865 г. в Академию Наук пришла из Рима, где лечился Ленц, весть о его смерти, то в первой поминальной речи акад. Буняковский отметил, что в любой коллегии академик Ленц выдвигался на ответственные места благодаря ясному и систематическому уму, большой прямоте и большому чувству долга. Он

лучше кого бы то ни было подходил к руководящим постам и всегда пользовался поддержкой людей достойных.

О ректорстве Э. Х. Ленца можно сказать лишь очень немного. Он в течение всей своей университетской деятельности был активным членом Совета Университета, принимал деятельное участие в решениях всех принципиальных вопросов, например вопроса о порядке присуждения ученых степеней. В течение своей жизни он несколько раз был исправляющим должность ректора и один раз даже исправляющим должность попечителя учебного округа. После утверждения университетского устава 1863 г. Э. Х. Ленц был избран ректором Университета. Однако ректором пробыл недолго — около года, так как заболел и уехал лечиться за границу; 29 января 1865 г. Ленц умер в Риме.

Нам остается еще сказать о той школе ученых, которую создал академик Э. Х. Ленц в С.-Петербургском университете. Можно сказать, что все физики, работавшие в Петербурге в последние 40 лет XIX в., в той или иной форме — ученики Ленца: А. С. Савельев, впоследствии профессор Казанского университета, помогавший Ленцу в ряде исследований; Ф. Ф. Петрушевский, наследовавший кафедру Ленца в С.-Петербургском университете; Р. Э. Ленц, впоследствии профессор С.-Петербургского университета и Технологического института; М. П. Авенариус, впоследствии профессор Киевского университета и член-корреспондент Академии Наук, глава Киевской школы физиков, организовавший целый ряд исследований критического состояния тел, цитируемых и до настоящего времени; П. П. Фан-дер-Флит, впоследствии профессор С.-Петербургского университета; Д. К. Бобылев, перешедший впоследствии на механику; Н. П. Слугинов, впоследствии профессор Казанского университета. Учениками Ф. Ф. Петрушевского являются: И. И. Боргман, впоследствии профессор С.-Петербургского университета, ректор Университета и общественный деятель; Н. Г. Егоров, впоследствии президент Главной палаты мер и весов и профессор Медицинской академии; Н. А. Гезехус,

впоследствии профессор Технологического института. О трех последних можно сказать то, что Ф. Ф. Петрушевский написал о первом из них: „И. И. Боргман есть продолжатель школы, которой основание положено покойным Э. Х. Ленцом, известным своими работами по электричеству и магнетизму. В этой области, действительно, работали все ученики Ленца и ученики его учеников". Э. Х. Ленц написал также руководство, по которому учились поколения русских физиков.

Наряду с педагогической деятельностью, академик Ленц проявил исключительную организаторскую деятельность. Он был ответственным членом и обыкновенно руководителем большого числа комиссий по самым разнообразным вопросам. Так, он был членом Комиссии по сооружению Главной астрономической обсерватории, членом Комитета по постройке Исаакиевского собора, экспертом по системе отопления Публичной библиотеки торфом, членом Комиссии по обозрению Морских учебных заведений, присутствовал при опытном золочении купола Храма Христа Спасителя в Москве и определял потери металла, членом Комитета по реформе учебных заведений Морского ведомства, председателем Комитета по руководству работой кандидатов в преподаватели физики и физической географии, членом Попечительного совета по делам, касающимся до ученой части, наблюдал за громоотводами, был членом Комитета по пересмотру старого устава Университета и написанию нового устава 1863 г., членом Временной комисии по управлению университетами и исправлял обязанности председателя этой Комиссии, членом Комиссии по отоплению родовспомогательных заведений и председателем Комиссии по испытанию спиртомеров.

Этот длинный список показывает, что интересы Ленца были чрезвычайно широки. Он не только оставил потомству классические исследования в области учения об электричестве, но показал огромное умение применять свои знания к различным жизненно важным вопросам.

Научная деятельность академика Э. Х. Ленца не нуждается в пояснении. Он является одним из основоположников современного учения об электрических явлениях. Закон Ленца и правило Ленца вошли во все учебники физики. Э. Х. Ленц оказал большое влияние на русскую и зарубежную науку того времени, а сам пользовался всеобщим признанием. Приведу только один пример. Когда в 1841 г. Лондонское королевское общество присудило Ому высшую награду — медаль имени Коплея, то в своей мотивировке присуждения оно указывает, что „самые выдающиеся ученые этой эпохи — Гаусс, Ленц, Якоби — с успехом пользовались законом Ома“. Таков был вес ученого имени Ленца.

В нашей Академии Э. Х. Ленц с достоинством продолжал дело, столь блестяще начатое Ломоносовым.

Проф. *К. К. Баумгарт.*

ЗАСЛУГИ Э. Х. ЛЕНЦА В ОБЛАСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОГРАФИИ

I

Общепризнаны заслуги знаменитого физика академика Эмилия Христиановича Ленца (1804—1865) в области электромагнетизма. Однако следует напомнить, что Ленц был также выдающимся физико-географом.

Русские кругосветные плавания, начатые Крузенштерном и Лисянским в 1803—1806 гг., принесли богатый океанографический материал. Первые наблюдения вертикальных рядов температур на глубинах океана были сделаны при помощи термометра Сикста во время плавания Крузенштерна на „Надежде“. Затем следуют многочисленные наблюдения глубинных температур, произведенные Коцебу во время плавания на бриге „Рюрик“ в 1815—1818 гг. Исследования производились вплоть до глубин в 6000 футов, или 1829 м. Об этих наблюдениях адмирал Макаров дает самый лучший отзыв.

В 1823—1826 гг. молодой Ленц участвовал в кругосветном плавании военного шлюпа „Предприятие“, начальником которого был знаменитый кругосветный мореплаватель капитан О. Е. Коцебу. Научные результаты своих наблюдений Ленц изложил в труде: E. Lenz. Physikalische Beobachtungen, angestellt auf einer Reise um die Welt unter dem Commando des Capitains Otto von Kotzebue in den Jahren 1823, 1824, 1825 und 1826. Mémoires de l'Académie des Sciences de St.-Pétersbourg, sixième série, sciences mathém., phys. et natur., t. I, 1831, стр. 221—

341, с 5 табл. Э. Х. Ленц был учеником известного дерптского физика проф. Егора Ивановича Паррота (1767—1852), с 1826 г. академика. Паррот, рекомендовавший Ленца в плавание на „Предприятии", принимал деятельное участие в снаряжении экспедиции по своей специальности. Он составил подробную инструкцию для производства океанографических, метеорологических и геофизических наблюдений (см. стр. 9—15). Но помимо того, он, совместно с Ленцом, изготовил два прибора, составившие эпоху в истории океанографии. Оба эти инструмента были использованы на „Предприятии" и доставили драгоценные данные. Мы имеем в виду:

1) Батометр, или прибор для доставания с глубин образцов воды. Требовалось, чтобы аппарат принес на поверхность воду с температурой, какая была на глубине, в месте взятия образца. Для этого стенки батометра были устроены из слоев разной теплопроводности, именно из 17 слоев поочередно из листового железа и грубого сукна (драпа), пропитанного кипящей смесью сала и воска. Снаружи прибор был окутан холстом и окрашен масляной краской. Высота цилиндрического батометра равнялась 43 см, внешний диаметр — 35 см, внутренний — 30 см. Внутри батометра, вдоль оси, на стержне, соединявшем клапаны батометра, в самом низу прикреплялся термометр. Впоследствии на таком же принципе был независимо построен батометр Экманом — Нансеном—О. Петтерссоном.

2) Глубомер, или прибор для измерения глубин. По той же идее в 1870 г., т. е. значительно позже, был построен глубомер английским физиком В. Томсоном.

Относительно батометра Ленца С. О. Макаров[1] говорит: „Из всех бывших в употреблении способов доставания воды с больших глубин я признаю самым лучшим тот способ, который употреблял Ленц в 1824—1826 гг... Продолжительными исследованиями он изучил закон обмена температур

[1] Витязь и Тихий океан, СПб., 1894, I, стр. 19—20.

через стены батометра и таким образом мог вывести поправки и по ним определить температуру воды на глубине. Температуры, полученные таким образом с больших глубин и обработанные Ленцом, чрезвычайно схожи с температурами, наблюдавшимися на Challenger'е термометрами новейшего образца, и это подтверждает, что батометр Ленца действовал правильно". Также Крюммель подтверждает, что наблюдения Ленца, тщательно им снабженные необходимыми поправками, принадлежат к лучшим „по сей день".[1]

Относительно наблюдений Ленца над удельными весами воды Тихого океана на поверхности и на глубинах Макаров (стр. 247) пишет: „Наблюдения Ленца не только первые в хронологическом отношении, но первые в качественном, и я ставлю их выше своих наблюдений и выше наблюдений на Challenger'е". Далее (стр. 251) Макаров приводит для показания точности наблюдений Ленца некоторые данные этого исследователя и последующих. В Тихом океане под 24° с. ш. путь Ленца пересекает путь „Витязя" 1887 г.; у Ленца удельный вес на поверхности 1.0271, у „Витязя" 1.0272. Под 35° с. ш. путь Ленца пересекает путь „Челленджера", у Ленца удельный вес 1.0267, у „Челленджера" 1.0266, и т. д.

К этому прибавим сравнительные данные насчет температур, наблюденных Ленцом на глубинах. В Тихом океане на глубине 1783 м Ленц в 1824 г. под 21° 14′ с. ш. наблюдал температуру в 2.4° С. Не очень далеко отсюда в 1874 г. „Челленджер" на той же глубине отметил 2.4° С.

II

Переходим к изложению научных результатов, добытых Э. Х. Ленцом в области океанографии.

Маршрут кругосветного плавания Ленца на „Предприятии" был таков: из Кронштадта в Рио-де-Жанейро, отсюда мимо

[1] O. Krümmel. Handbuch der Ozeanographie, Bd. I. Stuttgart, 1907, стр. 371.

мыса Горн в Петропавловск на Камчатке. После посещения Ситхи, Сан-Франциско, а также Гавайских и других островов в Тихом океане — возвращение домой по маршруту: Зондский пролив, Мыс Доброй Надежды, остров св. Елены, Портсмут — Кронштадт. Маршрут этот нанесен на прилагаемой карте, любезно составленной кандидатом географических наук В. Г. Смирновой.

На основании данных о распределении удельных весов морской воды Ленц впервые устанавливает (стр. 108—109), что как в Атлантическом, так и в Тихом океанах есть два максимума солености: в каждом океане один максимум — к северу от экватора, другой — к югу; эти максимумы разделены минимумом, расположенным приблизительно в области экватора.

Наблюдения эти совершенно правильны. Мы знаем, что в Атлантическом океане есть два максимума солености: один в северном полушарии, примерно под 25° с. ш., где соленость выше 37.25‰, другой — в южном, примерно под 15° с. ш., где соленость такая же. Под экватором же, точнее между 0 и 10° с. ш., в Атлантическом океане соленость гораздо меньше, ниже 36‰, местами же она опускается до 35‰. В Тихом океане тоже есть два максимума солености, разделенные приэкваториальным минимумом: в северном полушарии, между 20 и 30° с. ш., соленость свыше 35.5‰ (35.6—35.7); в южном полушарии между 15 и 25° ю. ш. — около 36.5‰.[1] Как видно из вышеизложенного и как правильно отметил Ленц, северный максимум отстоит дальше от экватора, чем южный. Э. Х. Ленц задается вопросом (стр. 111), почему максимумы солености находятся к северу и к югу от экватора, а не в области экватора, и совершенно правильно отвечает: в области пассатов испарение велико, тогда как в приэкваториальных широтах господствует затишье.[2] К этому надо при-

[1] Ср. также: Э. Ленц. Физическая география. 3-е изд., СПб., 1865, стр. 96.

[2] G. Schott. Geographie des Indischen und Stillen Ozeans. Hamburg, 1935, табл. XXVII.

бавить, что в зоне наименьшей солености выпадает наибольшее количество атмосферных осадков (в Атлантическом океане в приэкваториальной зоне минимальной солености выпадает 1000 мм и более осадков, местами свыше 2000 мм; в Тихом океане в соответственных местах 1000—2000 мм, а местами свыше 3000 мм).

Вполне точно отмечает Э. Х. Ленц, что Атлантический океан в общем имеет на поверхности бóльшую соленость, чем Тихий, а Индийский занимает промежуточное положение: на западе он солонее, чем на востоке. О причинах большей солености Атлантического океана Ленц не высказывается. По этому вопросу писал А. И. Воейков.[1] По мнению этого географа, бóльшая соленость Атлантического океана объясняется тем, что берега его не окаймлены горами; поэтому значительная часть влаги испаряется с поверхности этого океана, увлекается далеко за пределы его бассейна, вплоть до Каспийского и Аральского морей, и таким образом теряется для океана, увеличивая его соленость. Напротив, на берегах Тихого и Индийского океанов есть высокие горы, которые сгущают океанические пары и снова отдают их, через реки, океанам, уменьшая соленость Тихого и Индийского океанов.

В Атлантическом океане, говорит Э. Х. Ленц (стр. 111), западная часть солонее восточной. Это вполне справедливо для южной Атлантики, но что касается северной, то здесь как запад, так и восток обладают приблизительно одинаковой соленостью.

Совершенно правильно Ленц отмечает, что наибольшая соленость в Атлантическом океане находится в северном максимуме, под 40° з. д.

---

[1] А. И. Воейков. Испарение и осадки на морях и причины бóльшей солености Атлантического по сравнению с другими океанами. Записки по гидрографии, т. XXXVI, 1913, стр. 126—146, с картой солености океанов.

Э. Х. Ленц произвел 7 наблюдений над удельными весами морской воды на глубинах (стр. 78). Одно из этих наблюдений было сделано в Атлантическом океане под 32°20′ с. ш. на глубине 1978 м; оно дало некоторое понижение солености по сравнению с поверхностной водою. Действительно, по современным данным, в этих местах наблюдается некоторое (небольшое) понижение солености с глубиною.[1]

Для Тихого океана (21°14′ с. ш., 196°01′ з. д. от Гринича) Э. Х. Ленц тоже указывает очень небольшое понижение на глубине 1802 м.

Не менее замечательны наблюдения Ленца над температурами на глубинах. В Тихом океане на глубине 1785 м он отметил 2.4° (21°14′ с. ш.), в Атлантическом на глубине 1980 м (32°20′ с. ш.) 2.2° (стр. 74). Эти данные для соответственных глубин отвечают действительности. Ленц отмечает, что в океанах температура с глубиной понижается сначала быстро, а потом медленно.

Э. Х. Ленц сравнивает температуру воздуха над океаном с температурой воды на поверхности океана (стр. 118—124) и приходит к выводу, что между экватором и 45° с. ш. и 33° ю. ш. море теплее воздуха; за этими широтами теплее то море, то воздух. Мы знаем теперь, что в общем вода на поверхности океанов, как правило, теплее воздуха над нею. Например, под экватором средняя годовая температура воздуха (для всей Земли) 26.2°, температура океана на поверхности 27.1°; под 5° с. ш. соответственно 26.4 и 27.4°.[2]

У Шотта[3] есть любопытные карты, на которых изображено отношение между температурами воды и воздуха в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах, по две для каждого:

---

[1] G. Schott. Geographie des Atlantischen Ozeans. 3. Auflage, Hamburg, 1942, стр. 193, 194. — Ю. Шокальский. Физическая океанография. Л., 1933, рис. 41 при стр. 96.

[2] Hann-Süring. Lehrbuch der Meteorologie. 5. Aufl., Leipzig, 1937, стр. 180.

[3] Атл. ок., 1942, стр. 152; Инд. и Тих. ок., стр. 132.

февральская и августовская. В общем, вода теплее воздуха. В феврале разница в пользу воды в северо-западной части Тихого океана достигает 4°, что в значительной степени есть следствие дующих здесь в это время года холодных северо-западных ветров. В августе вода в Тихом океане немного теплее воздуха, на 1° и менее, а к северу от 40° с. ш., а также вдоль западного побережья Северной Америки на юг, за южную оконечность Калифорнии, воздух в августе немного теплее воды. Как в феврале, так и в августе в Тихом океане под экватором от берега Америки далеко на запад идет узкая полоса низких температур воды. В открытом Атлантическом океане в общем вода теплее воздуха; к северу от Бермудских островов, в области Гольфштрома, это превышение в пользу воды достигает в феврале 7.5°. Но у западных берегов Африки и зимою и летом, а также в области Нью-Фаундлэнда летом, воздух теплее воды, что вызывает во всех этих местах образование туманов.

Замечательны наблюдения, произведенные Ленцом над суточным ходом атмосферного давления на острове Люсон под 14°34′ с. ш. (стр. 111—118). Здесь обнаружены два максимума и два минимума: максимум в 9 часов утра и 10 часов вечера, минимум в 4½ часа дня и 4½ часа ночи.[1] Эти данные совершенно верны. Как известно, в тропиках суточная амплитуда давления воздуха отличается особою правильностью: здесь наблюдаются два максимума и два минимума примерно в те сроки, какие указаны Э. Х. Ленцом. Средняя амплитуда между наивысшим и наинизшим суточным стоянием барометра, равна, по Ленцу, 2.3 мм, что тоже соответствует современным данным.

Как видим, все физико-географические наблюдения Ленца отличаются большой точностью. Они сохраняют свое значение до настоящего времени.

---

[1] Ср. также: Э. Ленц, Физич. геогр., стр. 266—268.

III

В течение ряда лет Э. Х. Ленц преподавал физическую географию в высших военно-морских учебных заведениях. Им опубликован превосходный курс физической географии, выдержавший три издания (3-е изд., СПб., 1865, VIII+325 стр.). Курс этот написан простым, ясным языком, в нем цифровой материал приведен в умеренном количестве, почему книга эта легко читается. Несомненно, она в свое время способствовала распространению здравых взглядов на вопросы физической географии.

Науку эту Ленц определяет следующим образом (стр. 1): „Физическая география излагает явления, замечаемые нами на поверхности и в доступных нам глубинах земли, рассматривая их преимущественно как условия для развития органической жизни. Главная же задача ее, как науки, заключается в определении, по каким именно законам совершались и еще ныне совершаются наблюдаемые нами явления".

Содержание книги следующее: Земля как целое. Твердая оболочка. Жидкая оболочка. Вулканизм, землетрясения, работа воды, работа животных. Метеорология. Распространение организмов.

Излагая данные о температуре, автор пользуется термином т е п л о р о д.

Любопытно определение, какое дает Ленц понятию климата. „Совокупность наружных причин, поддерживающих в данном месте органическую жизнь и содействующих ее развитию, мы означаем названием к л и м а т" (стр. 311). С этим определением небезинтересно сравнить то, которое дано мною в „Основах климатологии" (1-е изд., 1927, стр. 11; 2-е изд., 1938, стр. 5—6): „Под климатом следует понимать среднее состояние метеорологических явлений (или атмосферных процессов, или особенностей воздушных масс), поскольку это среднее состояние сказывается на жизни растений, животных и человека, а также на типе почвенного покрова".

Замечательно, что в обоих определениях подчеркивается связь климата с органическим миром.

Ленц-физик оставил по себе бессмертную память. Но и как геофизик он занимает в истории естествознания почетное место — почетное и для его собственного имени и для молодой русской науки того времени.

Несколько слов о переводе: для соблюдения исторической правды в „Физических наблюдениях“ сохранена географическая терминология времен Э. Х. Ленца. Поэтому здесь фигурируют: Южное море (= Тихий океан); Новая Голландия (= Австралия); Китайское море (= Южно-Китайское).

Акад. *Л. С. Берг.*

О РАБОТАХ Э. Х. ЛЕНЦА В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

Еще в средней школе мы узнаем имя Э. Х. Ленца. „Закон Джула и Ленца“ и „Правило Ленца“ принадлежат к самым основным элементам нашего физического и электротехнического образования. Вместе с тем, они нам сообщаются обыкновенно вне всякой исторической перспективы; и мы и впоследствии плохо представляем себе ту обстановку, в которой возникли эти законности, и то значение, которое они имели для последующего развития науки и техники. Восстановить во весь рост историческое дело нашего знаменитого соотечественника является нашим прямым и неотложным долгом по отношению как к нему самому, так и к чести нашей отечественной науки.

Как показывает биография Э. Х. Ленца, он имеет перед русской наукой многообразные заслуги: геофизик и океанограф, университетский профессор и администратор, академик и научный работник-физик, автор многочисленных учебников и пособий, — он во всех этих областях знаменует для русской науки и культуры новую эпоху. Но мы будем в дальнейшем говорить только о двух или трех важнейших направлениях работ Ленца — о его работах по электромагнитной индукции и о работе по нагревательному действию электрического тока. Более вскользь коснемся роли Ленца в установлении и разъяснении закона Ома.

Напомним, что в 1831 г. произошло событие, которое сыграло в дальнейшем огромную научную и техническую роль,

преобразовав все учение об электричестве и создав новые и решительные предпосылки для утверждения за последним значения первенствующего энергетического фактора в развитии промышленности, транспорта, средств связи, освещения и проч. Мы говорим об открытии Фарадеем нового явления — того, что мы теперь называем „электромагнитной индукцией". Сам Фарадей не пользовался этим термином и разделял открытые им явления на два разряда — на „магнито-электрическую" и „вольта-электрическую индукцию". Соответственно он давал и совершенно различные правила для определения направления индуцируемого тока, — а иногда и по нескольку правил для одного случая. Это показывает, что он и сам был не вполне удовлетворен своими указаниями. Современники Фарадея восприняли открытие с полным пониманием его огромного значения: многие журналы перепечатывали его знаменитые серии „Исследований по электричеству", многие авторы быстро включились в ту же работу, кое-кто сетовал на „удачу" Фарадея, опередившего их собственные труды на самую будто бы малость.

Были также попытки в некоторой доле изобразить себя соучастниками открытия. Давались новые формулировки для правил о направлении тока, иногда совершенно ошибочные. Этими работами заполнены месяцы и даже годы, непосредственно следующие за опубликованием работ Фарадея в „Philosophical Transactions".[1]

Вот к этому моменту — точнее, к ноябрю 1833 г. — относится выступление Э. Х. Ленца.

Напомним читателю, что он в то время был совсем молодым человеком: ему было всего 29 лет. С этого возраста он вошел в плеяду людей, о которых человечество вспоминает целые столетия...

[1] См. первые две серии „Экспериментальных исследований по электричеству", а также литературу, цитируемую самим Ленцем в его знаменитом мемуаре о направлении индуцируемых токов (стр. 147—157).

Напомним, что в электродинамике, в учении об электромагнетизме и в учении об индукции существует множество правил, определяющих направление того или иного действия; сюда относятся: правило об амперовском „наблюдателе“, о максвелловском „пробочнике“, правило „правой руки“ Флемминга и мн. др. Все они носят чисто кинематический характер. В отличие от них правило Ленца несомненно отображает некоторый динамический строй мыслей: какое-нибудь действие рассматривается с точки зрения тех сил, которые его могут произвести. Утверждается, что при индукции возникнет ток, противоположный тому, который произведет то же действие. Например: ток *A* притягивает ток *B*. Тогда, если во втором проводе не будет тока, а мы его будем приближать к первому, во втором возникнет ток, который стремится оттолкнуться от первого, т. е. производит действие, противоположное тому, которое его вызывает.

Этот динамический характер правила Ленца, который выделяет его из многих упомянутых выше, предопределил и его дальнейшую судьбу — то большое будущее, которое ему предстояло пережить в истории физики вообще и электричества в частности. Назовем здесь два момента: когда в 1846 г. Фр. Нейман выводил законы электромагнитной индукции, он мог для этого вывода воспользоваться только одним выражением из всех, данных его предшественниками, — и это было правило Ленца.[1] И когда Гельмгольц, перейдя от терминов силы к терминам работы, в своем гениальном мемуаре о законе сохранения энергии (1847) дал носящий его имя вывод величины ЭДС электромагнитной индукции, он должен был ссылаться опять-таки на Неймана и на Ленца. Имя последнего таким образом непосредственно связано с распространением закона сохранения энергии на область явлений электромагнитной индукции — шаг неизмеримого значения в науке и технике.

---

[1] См.: Ann. d. Phys., 1846, Bd. LXVII.

Ленца дóлжно с полным основанием причислить к тем немногим деятелям науки, которые явились прямыми и необходимыми предшественниками величайшего обобщения XIX в. — закона сохранения энергии.

Не меньшую важность имеет то обстоятельство, что Ленц здесь впервые ясно осознал и точно формулировал принцип эквивалентности, который впоследствии сделался альфой и омегой электрического машиностроения. Из его правила ему было ясно, что комбинацией токов и катушек можно, пропуская в них токи, добиться вращения одних относительно других. Но тогда, если, наоборот, в некоторые катушки тока не пускать, а заставить их вращаться за счет посторонней движущей силы, то во вращаемых катушках возникнет индукционный ток той же величины, которая была бы нужна для того, чтобы в прежнем опыте получить такое же вращение. Теперь это — азбука, и всякий знает об одинаковом устройстве динамомашин и электромоторов. Но первый, кто ясно высказал этот принцип, был наш соотечественник Э. Х. Ленц.

Правило, установленное Ленцем, в его руках помогло решению еще одной насущной задачи теоретической и практической физики. Дело идет о точных магнитных измерениях — измерениях магнитной напряженности, намагничения железа, магнитных потоков и т. п. Э. Х. Ленц одним из первых предложил измерять величину магнитного потока теми индукционными действиями, которые производит создание или исчезновение потока. С этой точки зрения его следует назвать одним из авторов индукционных измерительных приборов. Читатель найдет в напечатанных в данном сборнике статьях Ленца большой материал по этому вопросу и сумеет оценить уверенность нашего соотечественника в значении устанавливаемых им законностей для будущего науки и техники. Для нынешнего научного и технического работника огромный интерес представит пережить при чтении мемуаров Ленца самое зарождение тех мыслей и представлений, которые для современной науки являются уже элементами и излагаются

в учебниках как нечто существующее если не вечно, то бесконечно давно, без благодарного обращения к имени их создателя.

На этих самых первоначальных основах учения об индукции Э. Х. Ленц, однако, не останавливается. Он обращает свои исследования на новый ряд вопросов, объединенных под мало говорящим общим заглавием „О зависимости величины индукционных токов от скорости вращения машины". Напомним опять историческую обстановку того времени — протяжением около десяти лет, — когда эти работы задумывались, производились и печатались. Когда вскоре после работ Фарадея была освоена мысль, что ЭДС индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего контур тока, для конструктивных целей понадобилось увеличить эту скорость не за счет величины потока, в котором вращался ротор машины, — такая возможность в то время была очень ограничена в особенности незнакомством с законами магнитной цепи, — а за счет быстроты вращения. Такими опытами занялся не кто иной, как „сам" Вебер, один из создателей системы электрических измерений. Его опыты дали явное отступление от простой пропорциональности между скоростью вращения и величиной ЭДС. Так как в законе индукции сомневаться было трудно, Вебер предложил для объяснения установленных им отступлений гипотезу, что железо не успевает принять полного намагничения при слишком быстром изменении поля. Теперь мы знаем, что это не так и что релаксационные явления намагничения должны иметь совершенно другой порядок величины, но в то время никаких данных по этому вопросу не существовало. Э. Х. Ленц берется за эту задачу, собирает обширный экспериментальный материал, умело и остроумно группирует его результаты и показывает, что популярная в то время гипотеза Вебера неспособна удовлетворительно объяснить наблюдаемые законности. Одновременно он выдвигает собственное объяснение, которое оказывается вполне согласным со всеми наблюдаемыми особенностями

явления и делает честь необыкновенной научной проницательности Ленца. Он догадывается о существовании явления, называемого ныне **реакцией якоря при индукции в нем тока**. Он, исходя из этого представления, предсказывает ход явления в зависимости от быстроты вращения и находит в опыте полное подтверждение этого предсказания. Кто из современных электротехников не изучал в свои школьные годы этого явления? Кто не знакомился со способами борьбы с искрением якоря? — Все это теперь представляется элементарным. Но кто из студентов (да и преподавателей) брал на себя труд порыться в истории вопроса и доискаться, кому принадлежит честь установления этого явления и этих приемов борьбы с ним? — Все это является заслугой одного Э. Х. Ленца, который больше десяти лет убеждал современников в важности для техники поднятого им вопроса, приводил объяснение тех разнообразных неудач, которые постигали экспериментаторов при попытках производить опыты с постоянным током, пользуясь не „гальваническими", а „машинными" источниками, — и наталкивался на непонимание и недооценку явления. А когда его поняли, то постарались забыть имя автора... Во всяком случае, предложенное Ленцем смещение щеток относительно нейтральной линии коллектора является теперь общепринятым средством в электротехнике, и без него не обходится ни одна современная силовая установка.

Переходим к другому классическому труду Ленца — к его исследованию относительно нагревательного действия токов Эта работа относится к 1843 г., т. е. непосредственно примыкает по времени к соответственному исследованию Джула. И здесь для полного понимания громадного значения и особенностей этой работы необходимо вникнуть несколько глубже в исторические условия возникновения этой работы и оценить ее с точки зрения тех технических средств, которыми тогда располагала физика для разрешения задач такого почти метрологического характера. Напомним, что в то время не существовало ни общепринятой системы единиц, ни точных измери-

тельных приборов, ни даже тех научных предпосылок, которые были бы нужны для создания таких приборов, не говоря уже о том, что техника еще не освоила электрических генераторов и двигателей, а потому ее предприятия не нуждались в таких приборах. Их никто и не производил, предоставляя каждому ученому самому строить их каждый раз для себя. В частности, не существовало еще настоящих гальванометров, а примитивные приборы этого рода назывались мультипликаторами. Было теоретически известно, что тангенс угла отклонения стрелки, при известных условиях, пропорционален величине силы тока, проходящего через катушки гальванометра, но в справедливости этого правила существовали сомнения. И вот Ленц сам строит гальванометр, сам его юстирует, сам проверяет на разные лады правило тангенсов и только после этого приступает к решающим измерениям. На пути его стоит, однако, еще одна капитальная трудность: хотя Омом уже давно — лет пятнадцать тому назад — дан его знаменитый закон, последний еще не вошел во всеобщее сознание как основной и несомненный закон природы. Напомним, что Фарадей его не знает и к нему не прибегает. Руководящие работники науки высказывают сомнения в его правильности, когда дело идет о переходе тока из твердого тела в жидкость, и подозревают существование особого „сопротивления перехода“. И Э. Х. Ленцу для придания убедительности своим результатам приходится длинный ряд опытов посвящать опровержению такого воззрения, или, по крайней мере, доказательству того, что если такое сопротивление и существует, то оно должно обладать странным свойством — быть не обратно, а прямо пропорциональным поперечному сечению соприкасающихся проводников.

Изучая труд Э. Х. Ленца, читатель легко усмотрит, какие фундаментальные данные автор собрал для решения вопроса и как твердо ему удалось доказать свои основные положения: а) выделяемое током тепло пропорционально сопротивлению проводника и не зависит от каких-либо других свойств послед-

него; б) оно пропорционально квадрату силы тока. Абсолютная величина тепла, выделяемого током, равным единице, в участке проводника, коего сопротивление равно единице, определена быть не могла: не существовало единиц ни для силы тока, ни для сопротивления. . .

Ниже автор упоминает в самом начале своей статьи о работе Джула на ту же тему. Не будем отнимать от нее ее достоинств: посредством ее сам автор безусловно мог убедиться в существовании той же законности. Но той фундаментальности, строгости и полной убедительности, которая отличает работу Ленца, в ней, конечно, усмотреть нельзя. Напомним, что и в другой, самой знаменитой своей работе — в работе по первому определению механического эквивалента тепла — Джул также удовольствовался весьма приближенным значением этой величины, взяв среднее из очень сильно различавшихся данных отдельных опытов. Но в том случае он впоследствии сам исправил дело рядом замечательных по точности исследований. Здесь же работа Джула стала убедительной только после работы нашего соотечественника. И потомки поступают, конечно, вполне справедливо, когда этому основному закону физики и электротехники присваивают имя обоих его авторов.

Мы видели, сколько труда пришлось Э. Х. Ленцу положить в данной работе на утверждение и разъяснение закона Ома. Нас завело бы слишком далеко, если бы мы захотели проследить и другие работы Ленца, в которых он преследовал — прямо или косвенно — ту же задачу. Он справедливо считается одним из ученых, которые более других способствовали утверждению этого закона в умах современников.

Последний цикл работ Э. Х. Ленца, который отражен в нашем сборнике, — это замечательные работы, произведенные им вместе с другим нашим ученым и академиком, Б. С. Якоби, и посвященные вопросу о действии электромагнитов. В то время, когда они были начаты, по этому вопросу не существовало решительно никаких данных, а достижения отдельных ученых и конструкторов, добивавшихся бóльших или меньших

успехов в этом деле, были обязаны случаю и удаче. Трудности, которые стояли на пути наших исследователей, были поистине громадны. Укажем на одно: отсутствовали какие бы то ни было точные данные по магнитным свойствам железа — по той „функции намагничения мягкого железа“, по которой уже гораздо позже, но ранее других ученых ставил свои замечательные опыты третий наш знаменитый соотечественник — А. Г. Столетов.

Можно смело сказать, что после работ академиков Ленца и Якоби наука и техника — и о той и о другой одинаково радели эти ученые — получили все те данные, которые в то время могли быть доступны. Конечно, это значительно менее того, чем располагают наши современники, и это понятно, так как только лет через тридцать после их работ родилось и развилось понятие о магнитной цепи — ныне первооснове всех электротехнических расчетов. Но в некоторой мере Ленц и Якоби подготовили для этого учения почву: уже у них мы видим пропорциональность действия электромагнита „числу ампервитков“, как говорим теперь мы, или „величине силы тока и числу витков катушки“, как выражались наши авторы.

Интересно отметить, что авторы совсем не пользуются фарадеевским представлением о силовых линиях — этот метод привился в науке значительно позже. Продумывая работы Ленца и Якоби с этой точки зрения, легко усмотреть, что образ силовых линий сделал бы результаты их значительно нагляднее и, несомненно, во многих случаях мог бы служить им как некоторый эвристический принцип. Но теория поля также родилась значительно позднее и развилась только тогда, когда это понадобилось для уразумения и освоения теории Максвелла.

Русские ученые, работавшие в области электричества, на всех этапах развития этой науки сказали свое веское и громкое слово: в эпоху развития статического электричества — Ломоносов, Рихман, Эпинус; во времена „гальванизма“ — Вас. Петров; на пороге развития электротехники в современном значении

этого понятия — Ленц и Якоби, а дальше — Яблочков, Чиколев, Попов, Лебедев, — всех тут назвать невозможно. Нашим сборником мы пытаемся воскресить то русское слово, которое было сказано почти ровно сто лет тому назад, — воскресить так, как оно было сказано, на языке того времени, во всеоружии знания, школы и таланта, со спокойной уверенностью и проникновением в будущее.

Чл.-корр. АНСССР *Т. П. Кравец.*

ПРИМЕЧАНИЯ

К статье „Физические наблюдения, произведенные во время кругосветного путешествия под командованием капитана Отто фон-Коцебу в 1823, 1824, 1825 и 1826 годах“

[1] Из: Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., sc. math., phys. et nat., 1831, t. I, стр. 221—341.

[2] В тексте опечатка: отсутствует множитель π.

[3] У первого члена в квадратных скобках отсутствует множитель π. Следует читать: $\frac{1}{3} n \left[(r + x)^2 \pi + \ldots\right.$

[4] Между четвертым и пятым членами вставлен опущенный знак $+$: $\ldots + 2rx + \frac{2rnx}{a} + r^2 \ldots$

[5] В знаменателе дроби при dx у Ленца пропущена степень „2“. Мы исправили: $\ldots \frac{dx^2 \sqrt{dx^2 + dy^2}}{dy^2 + dx^2}$.

[6] Вместо $\cos\alpha$ внесено исправление $\cos^2\alpha$.

[7] Вместо $a \sin\alpha$ следует читать $a \cos\alpha$.

К статье „Об определении направления гальванических токов, возбуждаемых электрической индукцией“

[1] Из: Ann. d. Phys. u. Chem., 1834, Bd. XXXI, стр. 483—494.

[2] Экспериментальные исследования Фарадея ныне имеются в русском переводе. Ленц цитирует здесь те работы Фарадея об электромагнитной индукции, которые вышли в свет ранее 20 ноября 1833 г., т. е. серии I и II.

[3] Ампер Андре Мари (A. M. Ampère), 1775—1836. Его основоположные труды по электродинамике опубликованы, начиная с 1820 г. (немедленно после открытия Эрстеда) по 1828 г.

[4] Нобили Леопольдо (L. Nobili), 1784—1835, профессор во Флоренции. О его работах по электромагнитной индукции см. примечание Фарадея в конце 1 серии его исследований. Изобрел „мультипликатор“ (т. е. гальванометр с подвижной магнитной стрелкой) и астатическую стрелку.

[5] Эрстед Ганс Христиан (H. Chr. Oersted), 1777—1851. Считался автором открытия основного факта электромагнетизма — отклонения магнитной стрелки током (1820).

[6] Де-ла-Рив Шарль (Ch. de la Rive), 1770—1834. Родоначальник семьи женевских физиков: Огюст де-ла-Рив, сын его, часто цитируется Фарадеем, внук Люсьен в 90-х годах прошлого века вместе с Э. Саразеном открыл явления так называемого множественного резонанса герцевских волн. Здесь, повидимому, цитируется работа Ш. де-ла-Рива, относящаяся к 1822 г.

[7] Барлоу Питер (P. Barlow), 1776—1862. Его „колесо“ фигурировало во всех старых учебниках, соответственный опыт описан им в 1820 г.

[8] Ритчи Уильям (W. Ritchie), ум. 1837. Писал в 1832 г. об опытах Фарадея в „Philosophical Transactions“.

К статье „О влиянии скорости вращения на индукционный ток, производимый магнито-электрическими машинами“

[1] Из: Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1849, t. VII, стб. 257—285; 1854, t. XII, стб. 46—62; 1858, t. XVI, стб. 177—192. То же в: Mélanges phys. et chim., 1849—1854, t. I, стр. 567—590; 1856—1859, t. III, стр. 235—254. То же в: Ann. d. Phys. u. Chem., 1849, Bd. LXXVI, стр. 494—523; 1854, Bd. XCII, стр. 128—152.

[2] Вебер Вильгельм (W. Weber), 1804—1891. Один из главных создателей, вместе с Гауссом, абсолютной системы мер. Цитируемая работа относится к 1844 г.

[3] Здесь a фигурирует в знаменателе ошибочно. На самом деле „резонансная“ частота будет равна $\sqrt{\frac{1}{c}}$.

[4] Штерер Эмиль (E. Stöhrer), 1813—1890. Механик в Лейпциге, конструктор ранних моделей „магнито-электрических машин“.

[5] Нервандер Иоганн (J. Nervander), 1805—1848, профессор в Гельсингфорсе и поэт. На фоне общего отрыва Гельсингфорского университета от работы русских университетов выделяется своим активным сотрудничеством со своим петербургским товарищем по науке. С 1844 г. был

членом-корреспондентом Академии Наук. Ему принадлежит заслуга обоснования точного измерения токов посредством тангенс-буссоли.

6 Швейгер Иоганн (J. Schweigger), 1779—1857. Издавал „Journal für Chemie und Physik“. Писал еще с 1821 г. об устройстве гальванометров и вообще о применении электромагнитных явлений к измерению токов.

7 То же в „Annalen der Physik“ за 1847 г. (стр. 70 и 201).

8 Гамель Иосиф Христианович, 1788—1861, академик по части технологии. Ему принадлежит заслуга ознакомления тогдашнего русского общества со многими новинками и изобретениями заграничной техники.

9 В его „Электродинамических измерениях“ (Ann. d. Physik, Bd. LXXIII, стр. 193 и сл.).

10 „Рядом“ точно передает „nebeneinander“. Теперь бы мы сказали „параллельно“.

11 В дальнейшем автор занимается нахождением функции по ее конечным разностям.

К статье „О законах электромагнитов“

1 Из: Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1838, t. IV, №№ 22, 23 (94, 95), стр. 337—367; Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1844, t. II, №№ 5, 6, 7, стр. 65—108. То же в: Ann. d. Phys. u. Chem., 1839, Bd. XLVII, стр. 225—270; 1844, Bd. LXI, стр. 254—280 и 448—465.

2 Якоби Борис Семенович, 1801—1874. С 1840 г. адъюнкт Академии Наук, позже академик. Изобретатель гальванопластики, электродвигателя, пишущего телеграфа и гальванических мин.

3 Стэрджен Уильям (W. Sturgeon), 1783—1850. Изобретатель электромагнита (1825).

4 Генри Джозеф (J. Henry), 1797—1878. Американский ученый и изобретатель. Одновременно с Фарадеем работал над явлениями индукции.

5 Беккерель Антуан (A. Becquerel), 1788—1878. Родоначальник целой плеяды ученых-физиков. В 1837 г. предложил для измерения токов особые весы.

6 Так как системы электрических единиц еще не существовало, каждый исследователь, желавший получать из своих измерений количественные результаты, устанавливал свои единицы. Одно из курьезных предложений такого рода мы видим здесь.

7 Волластон Уильям Гайд (W. H. Wollaston), 1766—1828. Знаменитый физик и химик (батарея В., камера-люцида В., перископические линзы В. криофор, В. проволока, открытие палладия и родия и мн. др.). Его элемент, предложен им в 1815 г.

8 Еще не устроены реостаты для регулирования силы тока.

9 В работе Ленца „О влиянии скорости вращения...". См. стр. 161.

10 См. стр. 161 и сл.

11 Не существовало магнитных успокоителей и не было установлено понятие о критическом сопротивлении гальванометра.

12 Фехнер Густав (G. Fechner), 1801—1887, профессор в Лейпциге. Впоследствии занимался психофизиологией (закон Фехнера).

13 Функция намагничения мягкого железа исследована значительно позднее, ранее других — А. Г. Столетовым в 1872 г.

14 См. также „Библиографический указатель" 9 (стр. 507—508).

15 Объяснение этого простого закона завело бы нас довольно далеко в вычисление магнитного сопротивления цепи.

16 Напомним, что теперь мы приравниваем „магнито-движущую силу" величине $4 \pi nJ$, где n — число витков, J — сила тока.

17 Ленц и Якоби — одни из первых ученых, признавших огромное значение закона Ома.

18 Здесь под „разложением" разумеется поляризация.

19 Вольт-агометр, или просто агометр — то, что мы называем реостатом.

20 См. также „Библиографический указатель" 29 (стр. 507—508).

К статье „О законах выделения тепла гальваническим током"

1 Из: Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. de sciences de St.-Pbg. 1843, t. I, стб. 209—253; 1844, t. II, стб. 161—188. То же в: Ann. d. Phys. u. Chem., 1843, Bd. LIX, стр. 203—239, 407—419; 1844, Bd. LXI, стр. 18—49.

2 Джул Джемс Прескотт (J. Pr. Joule), 1818—1889. Опубликовал в 1841 г. свою знаменитую работу о теплоте, выделяемой токами. Здесь дана та формула, которую мы называем законом Джула — Ленца. В 1843 г. Джул напечатал другую, еще более знаменитую работу — первую в его серии по определению механического эквивалента тепла.

3 Гесс Герман Иванович (G. H. Hess), 1802—1850. Выдающийся русский ученый, основатель термохимии, один из предшественников открытия закона сохранения энергии, был с 1834 г. ординарным академиком. Упоминаемая здесь работа напечатана в „Bulletin de la classe phys.-math." за 1849 г. и содержит ряд критических замечаний к работе Джула.

4 См. прим. 5 на стр. 359.

5 Явная ошибка, замеченная редактором „Анналов" при перепечатке работы. Правильно $^3/_4$ англ. линии.

[6] Шиллинг фон Канштадт Павел Львович, барон, 1786—1837. Известный изобретатель первого электромагнитного телеграфа и „гальванических" мин.

[7] См. стр. 249.

[8] Мы видим, как уже в то время была остра необходимость создания системы электрических единиц. Здесь Ленц по существу устанавливает собственную систему.

[9] См. прим. 12 на стр. 478.

[10] Поггендорф Иоганн Христиан (J. Chr. Poggendorff), 1796—1877. Издатель „Анналов", в то время единственного немецкого физического журнала. Приписывал себе изобретение гальванометра. Был в употреблении элемент Поггендорфа.

[11] Любопытно, что при не установившейся в то время терминологии почти одновременно Фарадей называет интенсивностью электродвижущую силу, Джул — силу тока, а Ленц — плотность тока.

[12] Ом Георг Симон (G. S. Ohm), 1787—1854. Создатель знаменитого „закона Ома".

[13] Форсельман де-Геер Питер (P. Vorsselman de Heer), 1809—1841. Рано скончавшийся голландский ученый, исследовал вопрос о „сопротивлении перехода".

[14] См. прим. 11.

[15] Пулье Клод (Cl. Pouillet), 1790—1868. Известен в особенности своими актинометрическими исследованиями, а также курсом физики, из которого впоследствии развился „Müller-Pouillet".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ПЕЧАТНЫХ ТРУДОВ Э. Х. ЛЕНЦА И МАТЕРИАЛОВ О ЕГО ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ*

I. Труды Э. Х. Ленца, опубликованные в печати

1. Научные труды

1824

1. Письмо г. Ленца, натуралиста на корабле „Открытие“, из Бразилии. — Сын отечества, 1824, ч. XCIII, стр. 17—24.

1826

2. Донесение физика Ленца [о физических и химических исследованиях, проведенных им во время плавания на шлюпе „Предприятие“]. — Записки, издаваемые Государственным адмиралтейским департаментом, относящиеся к мореплаванию, наукам и словесности, СПб., 1826, ч. XI,

---

* Библиографический указатель состоит из трех разделов. Первый раздел „Труды Э. Х. Ленца, опубликованные в печати“ содержит: 1. Научные труды. 2. Учебные руководства. 3. Отзывы о работах, представленных в Академию наук. Второй раздел „Краткие сведения о научной деятельности Э. Х. Ленца“ содержит: 1. Выступления с сообщениями и отзывами. 2. Упоминания об участии Э. Х. Ленца в научной и общественной жизни. Третий раздел содержит основную литературу о жизни и деятельности Э. Х. Ленца. В этом разделе приведены, кроме биографических материалов, также основные курсы по истории физики, в которых имеются сведения о деятельности Э. Х. Ленца.

Для составления указателя просмотрены издававшиеся Академией наук периодические издания физико-математического характера (1830—1865) и журнал „Annalen der Physik und Chemie“ (Poggendorff) (1830—1865). Все описания составлены de visu (в результате непосредственного просмотра книги или статьи) и расположены в хронологическом порядке.

Донесения от ученых, бывших в путешествии на шлюпе „Предприятие", поданные 2 августа 1826 г., стр. 406—409.

Мнение Щеглова об этом донесении. — Там же, 1827, ч. XII, стр. XXIX — XXXII.

1831

3. Physikalische Beobachtungen angestellt auf einer Reise um die Welt unter dem Kommando des Kap. O. v. Kotzebue in den Jahren 1823, 1824, 1825 u. 1826. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., sc. math., phys. et nat., 1831, t. I, pp. 221—341, 5 planches gravées.

То же. В сокращенном изложении под загл.: Ueber das Wasser des Weltmeeres in verschiedenen Tiefen, in Rücksicht auf die Temperatur und Salzgehalt. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1830, Bd. XX, SS. 73—130. См. также: Bibl. universelle de Genève, 1831, t. XLVI, pp. 275—285, 358—364.

Сообщено 4 ноября 1829 г.

Реф.: 1. Notizen aus dem Gebiete der Natur-und Heilkunde, Erfurt, 1831, Bd. XXIX, № 629, Kol. 197—198; 2. Edinb. journ. of science, new series, 1832, v. VI, pp. 341—344.

4. Rapport sur un voyage à Bakou. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le décembre 1830, St.-Pbg., pp. 65—96.

1832

5. Ueber die Bewegungen des Balkens einer Drehwaage, wenn demselben andere Körper von verschiedener Temperatur genähert werden. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1832, Bd. XXV, SS. 241—265.

Сообщено 15 февраля 1832 г.

1833

6. Ueber die Veränderungen der Höhe, welche die Oberfläche des Kaspischen Meeres bis zum April des Jahres 1830 erlitten hat. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, sc. math., phys. et nat., 1833, t. II, pp. 67—102.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1832, Bd. XXVI, SS. 353—394.

Сообщено 30 ноября 1831 г.

7. Vorschlag zur Konstruktion eines Thermometers, welcher sich die Kurve seines täglichen Steigens und Fallens selbst aufzeichnet. — Mém. de

l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, sc. math., phys. et nat., 1833, t. II, Bulletin scientifique, № 3, pp. VIII—X, 1 planche gravée.

Сообщено 11 января 1832 г.

8. Ueber die Leitungsfähigkeit der Metalle für die Elektrizität, bei verschiedenen Temperaturen. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, sc. math., phys. et nat., 1833, t. II, pp. 631—655.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1835, Bd. XXXIV, SS, 418—437.

Сообщено 7 июня 1833 г.

9. Ueber die Gesetze, nach welchen der Magnet auf eine Spirale einwirkt, wenn er ihr plötzlich genähert oder von ihr entfernt wird, und über die vortheilhafteste Konstruktion der Spiralen zu magneto-elektrischem Behufe. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, sc. math., phys. et nat., 1833, t. II, pp. 427—457.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1835, Bd. XXXIV, SS. 385—417.

То же. — Scientific memoirs (R. Taylor), London, 1837, v. I, pp. 608—630.

Сообщено 7 ноября 1832 г.

10. Expériences de forte compression sur divers corps. [Совместно с Парротом]. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, sc. math., phys. et nat., 1833, t. II, pp. 595—630, 2 planches.

Сообщено 23 мая 1832 г.

1834

11. Ueber die Bestimmung der Richtung der durch elektrodynamische Vertheilung erregten galvanischen Ströme. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1834, Bd. XXXI, SS. 483—494.

То же. — В кн.: Ефремов, Д. В. и Радовский, М. И. Электродвигатель в его историческом развитии. М.—Л. 1936, стр. 102—109. (Труды Института истории науки и техники, серия 3, вып. 2).

То же. На русск. яз. под загл.: Об определении направления гальванических токов, возбуждаемых электродинамическим распределением. — В кн.: Ефремов, Д. В. и Радовский, М. И.. Электродвигатель в его историческом развитии. М.—Л., 1936, стр. 94—102. (Труды Института истории науки и техники, серия 3, вып. 2).

Доклад Академии наук в СПб. 29 ноября 1833 г.

1835

12. Акустика. — В кн.: Энциклопедический лексикон. Т. I. СПб. 1835, стр. 385—388.

13. Bemerkungen gegen den in diesen Annalen enthaltenen, wider mich gerichteten Aufsatz des Hrn. Muncke über Thermoelektrizität des Glases. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1835, Bd. XXXV, SS. 72—80.

1836

14. Наблюдения над наклонением и степенью силы магнитной стрелки, произведенные в путешествие вокруг света на шлюпе „Сенявине" в 1826, 1827, 1828 и 1829 годах флота капитаном Ф. Литке, обработанные и вычисленные Э. Ленцом. СПб. 1836. 30 стр.

Сообщено 13 октября 1834 г.

То же. На немецк. яз. под загл.: Beobachtungen der Inklination und Intensität der Magnetnadel, angestellt auf einer Reise um die Welt auf dem Sloop Seniawin in den Jahren 1826, 1827, 1828 und 1829 von Kapitain Fr. B. Lütke. Berechnet und bearbeitet von E. Lenz. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, 1-re partie, sc. math. et phys., 1838, t. I [III], pp. 151—186

15. Баттарея. — В кн.: Энциклопедический лексикон. Т. V. СПб. 1836, стр. 83—84.

16. Батометр. — В кн.: Энциклопедический лексикон. Т. V. СПб. 1836, стр. 70—71.

17. Barometrische Höhenmessungen im Kaukasus, angestellt von C. Meyer und E. Lenz, berechnet von E. Lenz. — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1836, t. I, № 1, pp. 2—4.

Сообщено 28 августа 1835 г.

18. Bemerkungen über einige Punkte aus der Lehre des Galvanismus (Note). —Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1836, t. I, № 22, pp. 169—173.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1839, Bd. XLVII, SS. 584—592.

То же. — Ann. de chimie, Paris, 1840, t. LXXV, pp. 442—444.

Сообщено 11 ноября 1836 г.

Реф.: Bibl. universelle de Genève, nouvelle série, 1840, t. III, pp. 210—211. Подписано: A. de la Rive.

19. Bemerkungen über das sogenannte „Stationennivellement mittelst des Barometers" (Note). — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1836, t. I, № 7, pp. 51—53; № 8, pp. 63—64.

Сообщено 20 мая 1836 г.

1837

20. Ueber das Verhalten der Kupfervitriol-Lösung in der galvanischen Kette (Note). — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1837, t. II, Col. 338—344.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 11 стб.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1838, Bd. XLIV, SS. 349—356.

Сообщено 9 июня 1837 г.

1838

21. Гальванизм. — В кн.: Энциклопедический лексикон. Т. XIII. СПб. 1838, стр. 123—140.

22. Ueber das Gesetz der Leitungsfähigkeit für Elektrizität bei Drähten von verschiedenen Längen und Durchmessern. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, 1-re partie, sc. math. et phys., 1838, t. I [III], pp. 187 — 204.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 1838. 18 стр.

То же. — Scientific memoirs, (R. Taylor), London, 1837, v. I, pp. 311—324.

Сообщено 28 ноября 1834 г.

23. Ueber die Leitungsfähigkeit des Goldes, Blei's und Zinnes für die Elektrizität bei verschiedenen Temperaturen. (Als Zusatz zu der Abhandlung über die Leitungsfähigkeit 5 anderer Metalle). — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, 1-re partie, sc.math. et phys., 1838, t. I [III], pp. 439—455.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 17 стр.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1838, Bd. XLV, SS. 105—121.

24. Ueber die Gesetze der Elektromagnete. [Совместно с Якоби]. — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1838, t. IV, № 22, 23 (94, 95), Col. 337—367.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 1838. 40 стр.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., 1839, Bd. XLVII, SS. 225—266. Nachtrag zur vorstehenden Abhandlung, SS. 266—270.

Сообщено 6 июля 1838 г.

То же. Ч. 2. [Совместно с Якоби]. — Bulletin de la classe phys.-math, de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1844, t. II, № 5, 6, 7, Col. 65—108, 2 planches.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1844, Bd. LXI, SS. 254—280 u. 448—465.

То же. Отд. оттиск. 1844.

Сообщено 20 января 1843 г.

Реф.: Archives de l'électricité (supplément à la Bibl. universelle de Genève), 1845, t. V, pp. 569—574.

25. Ueber einige Versuche im Gebiete des Galvanismus. 1. Ueber Kälteerzeugung durch den galvanischen Strom. 2. Ueber die Leitungsfähigkeit des Wismuths, Antimons und Quecksilbers. 3. Ueber die Beziehung zwisch e elektromagnetischen und magnetoelektrischen Strömen. — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1838, t. III, № 21, Col. 321—326.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1838, Bd. XLIV, SS. 342—349.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 1838. 8 стр.

То же. — Bibl. universelle de Genève, nouvelle série, 1838, t. XVII, pp. 387—391.

То же. — Annals of electricity, magnetism and chemistry, 1838, v. III, pp. 380—385.

Сообщено 19 января 1838 г.

Реф.: Ann. de chim. et de phys., Paris, 1840, t. LXXV, pp. 442—444. Подписано: A. de la Rive.

26. Ueber die Kraft eines Magneten in Beziehung zur Kraft der einzelnen Magnete, aus welchen er zusammengesetzt ist. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, sc. math. et phys., 1838, t. I [III], Bulletin scientifique, pp. I—IV.

Сообщено 4 октября 1833 г.

27. Ueber das optische Verhalten der weissen Naphta von Baku. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VI série, 1-re partie, sc. math. et phys., 1838, t. I [III], pp. 3—12.

Сообщено 19 сентября 1839 г.

1839

28. Bemerkung zu der in T. IV № 22—23 des Bulletin enthaltenen Abhandlung: „Ueber die Gesetze der Elektromagnete". — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1839, t. V, № 1—2 (97, 98), Col. 18—22.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1839, Bd. XLVII, SS. 266—270.

Сообщено 26 октября 1838 г.

См. № 24.

29. Ueber die Anziehung der Elektromagnete. (Note). [Совместно с Якоби]. — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1839, t. V, N 17 (113), Col. 257—272.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1839, Bd. XLVII, SS. 401—418.

То же. Отд. оттиск. 1839.

Сообщено 1 марта 1839 г.

30. Ueber eine Erscheinung, die an einer grossen Wollastonschen Batterie beobachtet wurde. (Note). — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1839, t. V, N 4, 5 (100, 101), Col. 78—79.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 2 стр.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1839, Bd. XLVII, SS. 461—463.

Сообщено 9 ноября 1838 г.

31. Ueber die praktische Anwendungen des Galvanismus. Eine Rede gehalten am 31 März 1839 in der öffentlicher Sitzung der Universität zu St.-Petersburg. St.-Pbg. 1839. 68 SS.

То же. — В кн.: Слова и речи, читанные ректором и профессорами СПб. университета в день открытия его в бывшем здании 12 коллегий 25 марта 1838 г. СПб. 1838. 68 стр.

1840

32. Bestimmungen der magnetischen Inklination und Intensität in St.-Petersburg, Archangel und auf Nowaja Semlja von Hn. Ziwolka, bearbeitet und mitgetheilt von E. Lenz. — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1840, t. VII, N 16, 17 (160, 161), Col. 249—252.

Сообщено 8 мая 1840 г.

33. Ueber die Eigenschaften der magnetoelektrischen Ströme. Eine Berichtigung des Aufsatzes des Hn. de la Rive über denselben Gegenstand. — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1840, t. VI, N 7—8 (127, 128), Col. 98—128.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 1839. 42 стр.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1839, Bd. XLVIII, SS. 385—423.

Сообщено 7 июня 1839 г.

1842

34. Beitrag zur Theorie der magnetischen Maschinen. — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1842, t. IX, № 6, 7 (198, 199), Col. 78—88.

То же. — В кн.: Ефремов, Д. В. и Радовский, М. И. Электродвигатель в его историческом развитии. М. — Л. 1936, стр. 441—449. (Труды Института истории науки и техники, серия 3, вып. 2).

То же. Перев. на русск. яз. под загл.: К теории магнитных машин. — В кн.: Ефремов, Д. В. и Радовский, М. И. Электродвигатель в его историческом развитии. М. — Л. 1936, стр. 432—440. (Труды Института истории науки и техники, серия 3, вып. 2).

Сообщено 14 мая 1841 г.

35. Ueber den Leitungswiderstand des menschlichen Körpers gegen galvanische Ströme, aus Versuchen des Gehülfen des physikalischen Kabinets, Hrn. Ptschelnikof, hergeleitet. — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1842, t. XII, N 11, 12, Col. 184—192.

1843

36. Beschreibung eines sich selbst registrierenden Fluthmessers nebst einigen mit diesem Apparate erhaltenén vorläufigen Resultaten. (Note). — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1843, t. I, Col. 141—144, 2 planches lithogr.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1843, Bd. LX, SS. 408—412.

То же. — Archiv für wissenschaftliche Kunde von Russland (A. Erman), Berlin, 1843, Bd. III, SS. 178—181, 361—362.

Сообщено 18 февраля 1842 г.

Ueber die Gesetze der Elektromagnete. См. № 24.

37. Ueber die Gesetze der Wärmeentwicklung durch den galvanischen Strom. [Ч. I]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1843, t. I, Col. 209—253.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1843, Bd. LIX, SS. 203—239, 407—419.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 1845. 22 стр.

Сообщено 2 декабря 1842 г.

То же. [Ч. 2]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1844, t. II, Col. 161—188.

То же. Отд. оттиск. 41 стр.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1844, Bd. LXI, SS. 18—49.

Сообщено 11 августа 1843 г.

38. Instruction donnée à M. le docteur de Middendorf, pour son voyage en Sibérie. [Совместно с Ф. Брандтом и С. Мейером]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1843, t. I, Col. 177—185.

1844

Wärmeentwicklung in Drähten. См. № 37.

1845

39. Ueber eine Kreistheilmaschine des Herrn Girgensohn, Mechanicus der Akademie der Wissenschaften. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1845, t. III, Col. 52—56.

40. Ueber die Stärke der Ströme in einem Systeme neben einander verbundener galvanischer Ketten. (Note). — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1845, t. III, Col. 67—74, fig.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 1844. 6 стр.

Сообщено 5 апреля 1844 г.

1847

41. Bemerkungen über die Temperatur des Weltmeeres in verschiedenen Tiefen. (Note). — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1847, t. V, Col. 65—74, 1 planche gravée.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1848, Ergänzungsband II (nach Band LXXII), SS. 615—626.

Сообщено 28 ноября 1845 г.

42. Ueber galvanische Polarisation und elektromotorische Kraft in Hydroketten. [Совместно с Савельевым]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., t. V, N 1, 2, Col. 1—28, fig.

То же. — Ann. der Phys. u. Chem., Leipzig, 1846, Bd. LXVII, SS. 497—528.

То же. — Ann. de chimie et de physique, Paris, 3-me série, 1847, t. XX, pp. 184—217.

Сообщено 13 декабря 1844 г.

1848

43. О теплоте в отношении климатическом. — В кн.: Карманная книжка для любителей землеведения. СПб. 1848, стр. 161—194.

44. Magnetische Beobachtungen. — В кн.: Middendorff, A. Th. Reise in den äusersten Norden und Osten Sibiriens während der Jahre 1843 und 1844. Bd. I. Theil I. 1848, SS. 187—194.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 12 стр.

Наблюдения обработаны Э. Х. Ленцом

1849

45. Ueber den Einfluss der Geschwindigkeit des Drehens auf den durch magneto-elektrische Maschinen erzeugten Induktionsstrom. [Ч. 1]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1849, t. VII, Col. 257—280.

То же. Отд. оттиск. St.-Pbg. 12 стр.

То же. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1849, Bd. LXXVI, SS. 494—523.

Сообщено 3 декабря 1847 г.

То же. [Ч. 2]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1854, t. XII, Col. 46—62, 1 planche.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1849—1854, t. I, pp. 567—590.

То же. — Ann. der Phys. und Chem., Leipzig, 1854, Bd. XCII, SS. 128—152.

То же. [Ч. 3]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1858, t. XVI, Col. 177—192, 5 planches.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1856—1859, t. III, pp. 235—254.

Сообщено 12 июня 1857 г.

1850

45ª. Ленц, Э. X. Об электро-баллистическом приборе полковника Константинова. — Артиллерийский журнал, 1850, № 5, стр. 419—443.

Написано в защиту приоритета полковника Константинова на изготовление и усовершенствование электро-баллистического прибора.

46. Beitrag zur Bestimmung der in St.-Petersburg verdunstenden Wassermenge. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1851, t. IX, Col. 86—94.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1849—1854, t. I, Col. 226—238.

Сообщено 4 октября 1850 г.

1852

47. Ueber die Leitung des galvanischen Stromes durch Flussigkeiten, wenn der Querschnitt derselben verschieden ist von der Fläche der in sie getauchten Elektroden. [Ч. 1]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1852, t. X, Col. 129—142.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1849—1854, t. I, pp. 301—318.

Сообщено 12 сентября 1851 г.

Реф.: Ученые зап. Акад. наук по 1-му и 3-му отделениям, СПб., 1853, т. I, отчет за 1851 г., стр. 13—14.

1854

Ueber den Einfluss der Geschwindigkeit des Drehens auf den durch magneto-elektrische Maschinen erzeugten Induktionsstrom. [Ч. 2]. См. № 45

1857

48. Содержание солей в морской воде. — Морской сборник, 1857, т. XXVII, стр. 74—109.

То же. Отд. оттиск. 1857. 36 стр.

49. Bemerkungen über den Gebrauch des Farenheitschen Aräometers zur Bestimmung des Salzgehaltes des Meereswassers. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1857, t. XV, Col. 327—334.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1856—1859, t. III, pp. 92—100.

Сообщено 7 ноября 1856 г.

1858

Ueber den Einfluss der Geschwindigkeit des Drehens auf den durch magneto-elektrische Maschinen erzeugten Induktionsstrom. [Ч. 3]. См. № 45.

1860

50. Ueber eine bedeutende Anomalie in der Vertheilung der magnetischen Deklinationen, welche am Eingange des Finnschen Meerbusens, so wie nördlich und südlich von demselben beobachtet worden ist. — Bulletin de l'Acad des sciences de St.-Pbg., 1860, t. I, Col. 433—438.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1860—1896, t. IV, pp. 113—120, 1 planche.

Сообщено 9 декабря 1859 г.

51. Bericht über die magnetische Expedition in der Umgegend der Insel Jussary. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1860, t. II, Col. 440—443.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1860—1861, t. IV, стр. 512—515.

Сообщено 21 сентября 1860 г.

52. Ueber die stündlichen Temperaturänderungen der Luft und der Oberfläche des Meeres in den Tropen. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1860, t. I, Col. 212—228.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1860—1861, t. IV, pp. 54—70.

Сообщено 26 ноября 1858 г.

1861

53. Meteorologische Beobachtungen auf dem Atlantischen und Grossen Ozeane in den Jahren 1847—1849. Angestellt von dem Dr. Ed. Lenz, berechnet von E. Lenz. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. V, Col. 129—155.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1861—1864, t. V, pp. 229—264.

Сообщено 29 ноября 1861 г.

1862

54. Meteorologische Beobachtungen auf dem Atlantischen und Grossen Ozeane in den Jahren 1853—1854, angestellt von Dr. L. Schrenck, berechnet von E. Lenz. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1862, t. IV, Col. 96—118.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1861—1864, t. V, pp. 17—30.

Сообщено 8 февраля 1861 г.

1863

55. О вентиляции в нашем климате. СПб. 1863. 39 стр. (Зап. Акад. наук, 1863 г., т. III, кн. 1, приложение).

То же. На немецк. яз. под загл.: Betrachtungen über Ventilation in unsern Klimaten. — Mém. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., VII série, 1863, t. VI, N 1, pp. 1—29.

Сообщено 21 сентября 1862 г.

Реф.: Зап. Акад. наук, СПб., 1863, т. III, стр. 163—166.

56. О новом анемометре. — Зап. Акад. наук, СПб., 1863, т. III, стр. 249—257.

То же. На немецк. яз. под загл.: Ueber ein neues Anemometer. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. VI, Col. 184—191.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1861—1864, t. V, pp. 493—504.

Сообщено 24 апреля 1863 г.

57. Bericht über das behauptete Seichter-Werden des Asowschen Meeres. [Совместно с Бэром, Гельмерсеном, Веселовским, Стефани, Куником]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. V, Col. 72—105, 1 Karte.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1861—1864, t. V, pp. 181—228.

Сообщено 8 февраля 1861 г.

2. Учебные руководства

58. Руководство к физике, составленное для русских гимназий. СПб., 1839. 606 стр., рис. после текста.

То же. СПб. 1842. 576 стр., рис. после текста.

То же. СПб. 1846. 369 стр., рис. после текста.

Имеются предисловия автора ко 2-му и 3-му изданиям. В предисловии к 3-му изданию объясняется принятый автором порядок изложения статьи о гальванизме.

То же. 4-е изд. 1852. 267, 372 стр.

Рец.: Отечеств. зап., 1853, т. LXXXIX, отд. 5, стр. 117—121.

То же. СПб. 1855.

То же. Ч. 1 и 2. СПб. 1856. 217, 254 стр.

То же. Ч. 1—2. 5-е изд. 1859.

То же., 6-е изд. СПб. 1864. 155, 215 стр., рис. после текста.

То же. Ч. 1. М. 1865. 218 стр., рис. после текста.

То же. 7-е изд. СПб. 1867. 155, 215 стр., рис. после текста.

То же. Ч. 1. 8-е изд. М. 1867. 221 стр., рис.

59. Теория электричества. Лекции. 1862.

Литографированные записки.

60. Физическая география. С приложением особенного атласа. СПб 1851. IV, 272 стр.

Рец.: 1. Морской сборник, СПб., 1851, т. VI, № 12, стр. 536—537; 2. Библиотека для чтения, т. III, отд. 6, стр. 72; 3. Отечественные записки, 1851, т. LXXVIII, отд. 6, стр. 11; 4. Современник, 1852, т. XXXI, отд. 4, стр. 11.

Прибавление к 1-му изданию Физической географии академика Ленца. СПб. 1858. 41 стр.

Физическая география. СПб. 1853. 272 стр., с атласом.

То же. Перев. на шведский яз. Kuopio. 1854. 255 стр.

То же. СПб. 1858. 4, 307 стр., рис.

То же. СПб. 1859. 307 стр., рис. и атлас из 8 карт.

То же. СПб. 1865. 325 стр., рис.

Рец.: Книжный вестник, СПб., 1860, № 3—6, стр. 24.

61. Теория теплоты. Из физики Дагена [Daguin]. Перев. под ред. акад. Э. Ленца. СПб. 1861. 596 стр., рис.

Рец.: 1. Книжный вестник, СПб., 1861, № 14—15, стр. 209. 2. Строитель, механик и технолог, СПб., 1861, т. IV, отд. 3, стр. 650—652.

3. Отзывы о работах, представленных в Академию наук

62. Разбор сочинения г-на профессора Гебеля „Reise in die Steppen des südlichen Russlands". [На немецк. яз. Совместно с Гессом, Бэром и Бонгардом]. — В кн.: Седьмое присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград. 17 апреля 1838 г. СПб. 1838, стр. 89—111.

63. Разбор сочинения г-на адъюнкта Академии наук Якоби „Гальванопластика". [На немецк. яз.]. — В кн.: Девятое присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград. 17 апреля 1840 г. СПб. 1840, стр. 65—70.

64. Разбор сочинения контр-адмирала барона Врангеля под заглавием „Путешествие по северным берегам Сибири и по Ледовитому морю, совершенное в 1820, 1821, 1822, 1823 и 1824 гг." [На немецк. яз. Совместно

с Бэром]. — В кн.: Одиннадцатое присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград. 17 апреля 1842 г. СПб. 1842, стр. 37—81.

65. Rapport sur une découverte recente de M. Nervander concernant la méteorologie. [Совместно с Ф. Струве и Гессом]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1845, t. III, Col. 30—32.

Сообщено 5 апреля 1844 г.

66. Bericht über die Abhandlung des Herrn Prof. Kämtz: Resultate magnetischer Beobachtungen in Finnland. [Совместно с Купфером]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1849, t. VII, Col. 246—250.

Сообщено 6 октября 1848 г.

67. Разбор сочинения г-на Давидова, под заглавием „Теория капиллярных явлений, в двух частях". [На немецк. яз. Совместно с М. В. Остроградским]. — В кн.: Девятнадцатое присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград. 17 апреля 1850 г. СПб. 1850, стр. 73—90.

Реф.: Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1850, t. VIII, общий отчет о девятнадцатом присуждении Демидовских наград, стб. 4—5.

68. Разбор сочинения г-на Божерянова, под заглавием „Теория паровых машин", составленный [на немецк. яз.] гг. академиками Ленцом и Якоби и [на русск. яз.] флигель-адъютантом капитаном 1-го ранга Глазенапом. — В кн.: Девятнадцатое присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград. 17 апреля 1850 г. СПб. 1850, стр. 169—175, 177—190.

69. Разбор сочинения г-на профессора П. Ильенкова, под заглавием: „Курс химической технологии". СПб. 1851. 3 тома с атласом и политипажами. [Совместно с Якоби и Фрицше]. — В кн.: Двадцать первое присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград. 17 апреля 1852 г. СПб. 1852, стр. 81—85.

Реф.: Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1852, t. X, séance du 12 mars 1852, Col. 317.

70. Особое мнение академика Ленца о сочинении экстраординарного профессора астрономии при императорском Казанском университете М. Ковальского, под заглавием „Северный Урал и береговой хребет Пай-Хой. Т. 1. СПб. 1853 г., с 2 картами и 4 чертежами". — В кн.: Двадцать третье присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград. 28 мая 1854 г. СПб. 1854, стр. 125—129.

71. Разбор сочинения профессора Савельева, под заглавием „О гальванической проводимости жидкостей". [Совместно с Якоби]. — В кн.: Двад-

цать четвертое присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград. 28 мая 1855 г. СПб. 1855, стр. 81—87.

То же. [Извлечения из отзыва Ленца]. — Учен. зап. Акад. наук, СПб., 1855, т. III, общий отчет о двадцать четвертом присуждении Демидовских наград, стр. 493—495.

72. Bericht über das submarine Boot des Herrn Wilhelm Bauer. [Совместно с Якоби и Чебышевым]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1859, t. XVII, Col. 97—100.

То же. — Mélanges phys. et chim., 1856—1859, t. III, pp. 440—444.

73. [Отзыв о рассуждении Ф. Ф. Петрушевского под загл. „Способы непосредственного определения полюсов магнитов и электромагнитов"]. — Унив. известия, Киев, 1862, № 6, о публичном защищении диссертаций кандидатами Ващенко-Захарченко и Петрушевским для получения степени магистра, стр. 19—20.

74. Разбор сочинения г-на Казнакова „Вращающиеся штормы". [Совместно с Купфером]. — В кн.: Тридцать второе присуждение учрежденных П. Н. Демидовым наград. 5 июня 1863 г. СПб. 1863, стр. 168—170.

II. Краткие сведения о научной деятельности Э. Х. Ленца *

1. Выступления с сообщениями и отзывами

1829

75. [О сообщении Э. Х. Ленца „Mémoire sur la courbe que forme le fil d'une sonde dans une eau courante"]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1829, 1830, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1829, p. 32.

1843

76. [О сообщении Э. Х. Ленца о произведенных им наблюдениях спектра и о новом аппарате для этих наблюдений]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1844, t. II, séance du 22 décembre 1843, Col. 383—384.

77. [О представлении Бэром, Ленцом и Гельмерсеном проекта инструкции по наблюдению ледников Кавказа]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1844, t. II, séance de 31 mars 1843, Col. 14.

1844

78. [О сообщении Э. Х. Ленца о наблюдениях Крузеля над делением гальванического тока]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des

* В этом разделе описания расположены по годам, когда происходили те или иные события в жизни и деятельности Э. Х. Ленца.

sciences de St.-Pbg., 1845, t. III, séance du 5 avril 1844, Col. 141—142; séance du 17 mai 1844, Col. 191—192.

79. [Об отзыве Э. Х. Ленца о работе Савельева „Астрономические и магнитные наблюдения в окрестностях Канина"]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1845, t. III, séance du 9 août 1844, Col. 287.

1845

80. [О сообщении Э. Х. Ленца о применении Круэелем электролиза в медицине и об используемых им аппаратах]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1845, t. IV, séance du 2 mai 1845, Col. 304; 1847, t. VI, séance du 11 septembre, Col. 239—240.

81. [О сообщении Э. Х. Ленца о наблюдениях Мацеровского над уровнем воды в Белом море]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1845, t. IV, séance du 21 mars 1845, Col. 174; 1848, t. VI, séance du 20 mars 1846, Col. 112; 1859, t. VIII, séance du 13 avril 1849, Col. 69.

82. [Об отзыве Гесса и Ленца об аппарате Био для анализа образцов сахара]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1847, t. V, séance du 19 septembre, 1845, Col. 64.

1847

83. [О сообщении Э. Х. Ленца о работе под загл. „Ueber die Leitungsfähigkeit der Flüssigkeiten in Bezug auf den galvanischen Strom, wenn der Querschnitt derselben verschieden ist von dem der Elektroden"]. — Bulletin de laclasse phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1849, t. VII, séance du 19 février (3 mars), 1847, Col. 56.

84. [Об отзыве Купфера и Ленца о метеорологических приборах Зарубина]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1849, t. VII, séance du 28 avril 1847, стб. 207—208.

1849

85. [О сообщении Э. Х. Ленца „Beobachtungen des täglichen Ganges der Temperatur der Luft und der Oberfläche des Wassers in den Tropen"]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1850, t. VIII, séance du 23 novembre 1849, Col. 271.

86. [О сообщении Ленца о новом фотометре]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1850, t. VIII, séance du 25 mai 1849, Col. 112.

87. [Об отзыве Э. Х. Ленца об аппаратах Берлинского для измерения плотности воздуха и силы ветра]. — Bulletin de la classe phys.-math. de

l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1850, t. VIII, séance du 7 septembre 1849, Col. 157.

88. [Об отзыве Э. Х. Ленца и Б. С. Якоби о проектах машин Шенгелицева]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1850, t. VIII, séance du 28 septembre 1849, Col. 159—160.

89. [Об отзыве Мейера, Рупрехта и Ленца о микроскопе Эренберга и Нея]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1850, t. VIII, séance du 9 novembre 1849, Col. 239.

1851

90. [Об отзыве Купфера и Ленца об аппарате для получения электрического света Альмана]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1852, t. X, séance du 12 septembre 1851, Col. 47.

1852

91. [О сообщении Э. Х. Ленца об его исследованиях гальванических токов.] — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1853, t. XI, séance du 13 août 1862, Col. 73.

92. [Об отзыве Купфера, Ленца и Якоби о работах акад. Фрицше]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1852, t. X, séance du 13 février 1852, Col. 239.

1853

93. [Об отзыве Э. Х. Ленца об анемометре Крейгера]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1854, t. XIII, séance du 26 août 1853, Col. 95.

1854

94. [О прочтении Э. Х. Ленцом введения к исследованию „Ueber die Proportionalität der Stromstärke mit dem erregten Elektromagnetismus"]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1855, t. XIII, séance du 23 juin 1854, Col. 143.

Содержание этого исследования. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1856, t. XIV, Col. 364—365.

1855

95. [О сообщении Э. Х. Ленца под загл. „Diagrammes représentant le flux et le reflux dessinés par le hypsolographe établi à Sitka"]. — Bulletin

de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1856, t. XIV, compte rendu pour années 1854 et 1855, Col. 367.

Сообщено 22 июня 1855 г.

Изложено содержание сообщения.

96. [Об отзыве Э. Х. Ленца и Б. С. Якоби о сочинении Крузеля „Considérations et expériences sur la chaîne galvanique"]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1856, t. XIV, séance du 7 décembre 1855, Col. 237—239.

1856

97. [Об отзыве Э. Х. Ленца о двух системах громоотводов]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1856, t. XIV, séance du 28 mars 1856, Col. 319.

1857

98. [Об отзыве Ленца и Чебышева о сочинении „Мысли простого читателя о воздухоплавании и о прочем"]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1858, t. XVI, séance du 14 août 1857, Col. 191.

1858

99. [О чтении Э. Х. Ленцом публичных лекций]. — В кн.: Годичный торжественный акт в СПб. университете, бывший 3 февраля 1859 г. СПб. 1859. Отчет ректора за 1858 г., стр. 18.

1861

100. [Об отзыве Ленца и Струве о работах Празмовского о солнечном затмении 18 июля 1860 г.]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1862, t. IV, séance du 8 février 1861, Col. 427.

101. [Об отзыве Ленца о работе Кнохенгауэра „Об электрических термометрах"]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1862, t. IV, séance du 24 mai 1861, Col. 78.

1862

102. [Об отзыве Ленца и Купфера о работе Зарубина, касающейся приливов и отливов в Белом море]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. V, séance du 28 février 1862, Col. 119.

103. [Об отзыве Э. Х. Ленца о статье Тибо „Суточное периодическое видоизменение образа земного шара"]. — Зап. Акад. наук, СПб., 1862, т. I, извлеч. из проток. засед. Физ.-матем. отд. 14 марта, стр. 241.

То же. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. V, séance du 14 mars 1862, Col. 198.

104. [Об отзыве Ленца и Якоби о статье Шнейдера „О недостаточности нынешних способов измерения глубины моря и об улучшении этих способов помощию электричества"]. — Зап. Акад. наук, СПб., 1862, т. I, извлеч. из проток. засед. Физ.-матем. отд. 28 марта, стр. 242.

То же. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. V, séance du 28 mars 1862, Col. 199.

105. [Об отзыве Ленца и Якоби о летном аппарате Мак-Доннелли]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. VI, séance du 5 décembre 1862, Col. 565.

1863

106. [О прочтении Э. Х. Ленцом сообщения об его исследованиях по вентиляции]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. VI, séance du 30 janvier 1863, Col. 126; 1865, t. VIII, séance du 6 octobre 1864, Col. 225.

107. [Об отзыве Э. Х. Ленца о приборе Оссовского]. — Зап. Акад. наук, СПб., 1863, т. III, кн. 1, извлеч. из проток. засед. Физ.-матем. отд. 5 декабря 1862 г., стр. 95.

То же. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. VI, séance du 16 janvier 1863, Col. 116.

108. [Об отзыве Ленца и Якоби о громоотводе Орловского]. — Зап. Акад. наук, СПб., 1863, т. III, кн. 1, извлеч. из проток. засед. Физ.-матем. отд. 5 декабря 1862 г., стр. 94—95.

То же. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. VI, séance du 16 janvier 1863, Col. 115—116.

1864

109. [О чтении Э. Х. Ленцом курса лекций по „гальванизму и его новейшим применениям"]. — В кн.: История России в XIX веке. Т. VII. Вып. 26, стр. 25 и 26 (примечание).

110. [Об отзыве Ленца и Якоби о проекте громоотвода над пороховым погребом в Петербургском гребном порте]. — Зап. Акад. наук, СПб., 1864, т. IV, извлеч. из проток. засед. Физ.-матем. отд. 11 декабря, стр. 220.

То же. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1864, t. VII, séance du 11 décembre 1863, Col. 167.

2. Упоминания об участии Э. Х. Ленца в научной и общественной жизни

1827—1828

111. [О работе Э. Х. Ленца „Ueber das Wasser des Weltmeeres in verschiedenen Tiefen in Rücksicht auf die Temperatur und den Salzgehalt"]. —

Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1828—1829, compte rendu des travaux de l'Acad. des sciences pour les années 1827—1828, pp. 26 — 27.

1829

112. [О поручении Э. Х. Ленцу организовать наблюдения в Баку]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1829, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1829, p. 27.

1830

113. [О путешествии Э. Х. Ленца на Кавказ]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1830, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1830, pp. 33—34

1831

114. [О работе Э. Х. Ленца в 1831 г.]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1831, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1831, p. 26.

1832

115. [О проекте Э. Х. Ленца конструировать новый термометр]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1832, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1832, p. 18.

1833

116. [О работе Э. Х. Ленца в 1833 г.]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1833, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1833, pp. 30—31.

1834

117. [Об описании Э. Х. Ленцом прибора для измерения расширения твердых тел]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1834, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1834, p. 33.

1835

118. [О сделанных Э. Х. Ленцом расчетах метеорологических наблюдений на Кавказе]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des

sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1835, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1835, pp. 28—30.

119. [Э. Х. Ленц — один из составителей статей по физике и химии для Энциклопедического лексикона]. — В кн.: Энциклопедический лексикон. Т. I. СПб. 1835, стр. VI.

1836

120. [Об исследованиях Э. Х. Ленца над металлами-проводниками электричества]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 30 décembre 1836, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1836, pp. 27—28.

1837

121. [О работе Э. Х. Ленца в 1837 г.]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1837, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1837, p. 20.

122. [О назначении Э. Х. Ленца членом комиссии по проверке работ М. Г. Якоби о применении электромагнетизма к движению машин]. — Bulletin scientifique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1837, t. II, № 4, Col. 320.

1838

123. [О работах по электромагнетизму Ленца и Якоби]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1838, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1838, pp. 27—30.

То же. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1839, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1839, pp. 23—24.

То же. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1841, t. II, supplément, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1843, Col. 7—8.

1840

124. [Об участии Э. Х. Ленца в издании Энциклопедического лексикона]. — В кн.: Слова и речи, произнесенные на торжественном акте СПб. университета 25 марта 1840 г. СПб. 1841. Краткий отчет о состоянии СПб. университета в течение первого четырехлетия с 1836 по 1840 г., стр. 36.

125. [О наблюдениях Э. Х. Ленца над магнитными явлениями]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1840, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1840, pp. 24—25.

1842

126. [О работе Э. Х. Ленца в 1842 г.]. — Recueil des actes des séances publiques de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 31 décembre 1841 et le 30 décembre 1842, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1842, p. 73.

1843

127. [О сообщении Э. Х. Ленца об обследовании им громоотводов на Охтенских пороховых складах]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1843, t. I, séance du 17 février 1843, Col. 349—350.

128. [Э. Х. Ленц — заведующий физическим кабинетом СПб. университета]. — В кн.: Годичный торжественный акт в СПб. университете, бывший 25 марта 1843 г. СПб. 1843, стр. 28.

129. [Э. Х. Ленц — декан II Отделения философского факультета СПб. университета]. — В кн.: Годичный торжественный акт в СПб. университете, бывший 25 марта 1843 г. СПб. 1843. Первое двадцатипятилетие СПб. университета. Историческая записка, читанная 8 февраля 1844 г., стр. 75.

То же. — В кн.: Годичный торжественный акт СПб. университета, бывший 8 февраля 1848 г. СПб. 1848, стр. 24.

130. [Сведения об Э. Х. Ленце — профессоре физики СПб. университета]. — В кн.: Годичный торжественный акт в СПб. университете, бывший 25 марта 1843 г. СПб. 1843. Первое двадцатипятилетие СПб. университета. Историческая записка, читанная 8 февраля 1844 г., стр. 79.

1844

131. [О работе Э. Х. Ленца в 1844 г.]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1845, t. IV, supplément, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1844, Col. 12—13.

То же. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1844, pp. 38—39.

132. [Об избрании Э. Х. Ленца членом Академии в Турине и Физического общества во Франкфурте-на-Майне]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1844, t. II, Col. 47.

133. [Об избрании Э. Х. Ленца членом Антикварного общества в Копенгагене]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1844, t. II, Col. 272.

1845

134. [О работах Э. Х. Ленца по исследованию температуры морской воды]. — Recueil des actes de la séance publique de l'Acad. des sciences de

St.-Pbg., tenue le 29 décembre 1845, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1845, pp. 32—34.

135. [Об избрании Э. Х. Ленца 7 октября 1845 г. членом Совета Русского географического общества]. — В кн.: Семенов, П. П. История полувековой деятельности Русского географического общества. 1845—1895. СПб. 1896. Ч. 1, стр. 6.

1846

136. [О работе Э. Х. Ленца в 1846 г.]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1848, t. VI, supplément, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1846, Col. 8.

137. [Об участии Э. Х. Ленца в 1846 г. в работе Комиссии по разработке плана экспедиции на Северный Урал]. — В кн.: Семенов, П. П. История полувековой деятельности Русского географического общества. 1845—1895. СПб. 1896. Ч. 1, стр. 21.

1847

138. [Об инструкции по физической географии, составленной Э. Х. Ленцом в 1847 г. для экспедиции на Северный Урал]. — В кн.: Семенов, П. П. История полувековой деятельности Русского географического общества. 1845—1895. СПб. Ч. 1, стр. 22.

139. [Об участии Э. Х. Ленца в 1847 г. в работе Комиссии по исследованию климата России]. — В кн.: Семенов, П. П. История полувековой деятельности Русского географического общества. 1845—1895. СПб. 1896. Ч. 1, стр. 35—36.

140. [Об избрании Э. Х. Ленца членом Русского географического общества]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1847, t. V, Col. 80.

1848

141. [О работе Э. Х. Ленца в 1848 г.]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1849, t. VII, supplément, compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1848, Col. 8—9.

1849

142. [О работе Э. Х. Ленца в 1849 г.]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1850, t. VIII, № 16, 17 (184, 185), compte rendu de l'année 1849, Col. 251.

143. [Об избрании Э. Х. Ленца в 1849 г. членом Комиссии по организации наблюдений над качаниями маятника]. — В кн.: Семенов, П. П. История полувековой деятельности Русского географического общества. 1845—1895. СПб. 1896. Ч. 1, стр. 34.

1850

144. [О работе Э. Х. Ленца в 1850 г.]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1851, t. IX, N 10, 11, 12 (202, 203, 204), compte rendu de l'année 1850, Col. 160.

1851

145. [О работе Э. Х. Ленца в 1851 г.]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1852, t. X, N 18, 19, 20 (234, 235, 236), compte rendu de l'année 1851, Col. 283.

То же. — Ученые зап. Акад. наук по 1-му и 3-му отделениям, СПб., 1853, т. I, стр. 14.

146. [Об участии Э. Х. Ленца в 1851 г. в Комитете по разработке программы астрономических, геодезических и топографических работ для экспедиции в Восточную Сибирь]. — В кн.: Семенов, П. П. История полувековой деятельности Русского географического общества. 1845—1895. СПб. 1896. Ч. 1, стр. 77.

1852

147. [О работе Э. Х. Ленца в 1852 г.] — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1852, t. XI, N 12, 13 (252, 253), compte rendu de l'année 1852, Col. 190.

То же. — Ученые зап. Акад. наук по 1-му и 3-му отделениям, СПб., 1854, т. II, стр. 17—18.

То же. — В кн.: Годичный торжественный акт в СПб. университете, бывший 8 февраля 1853 г. СПб. 1853, стр. 18.

148. [Э. Х. Ленц — преподаватель физики в Морском кадетском корпусе]. — В кн.: Веселаго, Ф. Очерк истории Морского кадетского корпуса. СПб. 1852. Стр. 197.

149. [Об обработке Э. Х. Ленцом материалов по гипсометрии и метеорологии в трудах Уральской экспедиции, изданных в 1852—1855 гг.] — В кн.: Семенов, П. П. История полувековой деятельности Русского географического общества. 1845—1895. СПб. 1896. Ч. 1, стр. 70.

150. [О назначении Э. Х. Ленца членом комитета по обсуждению некоторых работ, предполагаемых при построении Исаакиевского собора]. — Ученые зап. Акад. наук по 1-му и 3-му отделениям, СПб., 1853, т. I, заседание 28 мая 1852 г., стр. 359.

1853

151. [О работе Э. Х. Ленца в 1853 г.]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1854, t. XII, № 21, 22 (285, 286), Col. 333.

То же. — Ученые зап. Акад. наук по 1-му и 3-му отделениям, СПб., 1854, т. II, стр. 612—613.

152. [Об избрании Э. Х. Ленца членом-корреспондентом Берлинской Академии наук]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1852, t. XI, séance du 11 février 1853, Col. 224.

1855

153. [О назначении Э. Х. Ленца и Б. С. Якоби экспертами во время производства опытов по гальванопластике]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1856, t. XIV, séance du 13 avril 1855, Col. 80.

1856

154. [Об избрании Э. Х. Ленца почетным членом Казанского университета]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1856, t. XIV, Col. 96.

155. [Об утверждении Э. Х. Ленца деканом физико-математического факультета]. — В кн.: Годичный торжественный акт в СПб. университете, бывший 3 февраля 1857 г. СПб. 1857. Отчет о состоянии СПб. университета в 1856 г., стр. 18.

1857

156. [О работе Э. Х. Ленца в 1857 г.]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1859, t. XVII, N 1, 2, 3 (385, 386, 387), compte rendu de l'Acad. des sciences pour l'année 1857, Col. 14—15.

1859

157. [О работе Э. Х. Ленца об аномалии в распределении магнитного склонения]. — В кн.: Отчеты Академии наук за 1859 г. СПб. 1860, стр. 17—18.

158. [О командировании Э. Х. Ленца за границу]. — В кн.: Годичный торжественный акт в СПб. университете, бывший 8 февраля 1860 г. СПб. 1860. Отчет о состоянии и ученой деятельности СПб. университета за 1859 г., стр. 20—21.

159. Об избрании Э. Х. Ленца почетным членом Харьковского университета]. — Bulletin de la classe phys.-math. de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1859, t. XVII, Col. 224.

1860

160. [О назначении Э. Х. Ленца членом комиссии по приемке электрического телеграфа]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1860, t. I, séance du 2 septembre 1859, Col. 138.

161. [Об участии Э. Х. Ленца в комиссии по исследованию вопроса об обмелении Азовского моря]. — Зап. Акад. наук, СПб., 1862, т. I, кн. 1, отчет по Физ.-матем. и Ист.-филологич. отд., стр. 41—42.

То же. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1862, t. IV, séance du 28 septembre 1860, Col. 54.

162. [О назначении Э. Х. Ленца экспертом в комиссию по разработке закона об акцизе на напитки]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1862, t. IV, séance du 16 novembre 1860, Col. 142.

163. [О назначении Э. Х. Ленца членом комиссии по исследованию систем вентиляции]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1860, t. I, Col. 142.

1861

164. [О приглашении Э. Х. Ленца принять участие в работах комиссии по проверке систем отопления Амосова и Дершау]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1862, t. IV, séance du 25 janvier 1861, Col. 425; 1862, t. V, séance du 14 novembre 1862, Col. 524.

165. [Об участии Э. Х. Ленца в комиссии по вопросу о введении в России метрической системы]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1862, t. IV, séance du 22 fevrier 1861, Col. 513.

166. [Об участии Э. Х. Ленца в комиссии по утверждению мер при продаже мехов]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1862, t. IV, séance du 10 mars 1861, Col. 517; séance du 18 octobre 1861, Col. 142; séance du 1 novembre 1861, Col. 491.

167. [Об избрании Ленца членом комиссии по назначению Демидовских наград (тридцатое присуждение)]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1862, t. IV, séance du 22 février 1861, Col. 513.

168. [О выводах, сделанных Э. Х. Ленцом, из метеорологических наблюдений Эд. Ленца и Л. Шренка]. — Зап. Акад. наук, СПб., 1862, т. I, кн. 1, отчет Акад. наук за 1861 г., стр. 17—19.

То же. — В кн.: Отчеты Академии наук за 1861 г. СПб. 1862, стр. 17—19.

169. [Э. Х. Ленц — редактор отдела естественных наук в Энциклопедическом словаре, составленном русскими учеными и литераторами]. — В кн.: Энциклопедический словарь, составленный русскими учеными и литераторами. Т. I. СПб. 1861, стр. IV.

1862

170. [О предложении Э. Х. Ленца произвести наблюдения над внутренней силой тяготения в 13 пунктах]. — Зап. Акад. наук, СПб., 1862, т. I, извлечения из протокола Физ.-матем. отд. 18 апреля, стр. 246.

То же. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. V, séance du 18 avril 1862, Col. 204—205.

171. [Об участии Э. Х. Ленца в работах комиссии по вопросу об организации магнитных наблюдений в России]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. V, séance du 28 mars 1862, Col. 200; séance du 28 avril 1862, Col. 205.

172. [Об участии Э. Х. Ленца в работе комиссии по рассмотрению плана постройки нового здания для астрономической обсерватории в Вильно]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t V, séance du 28 février 1862, Col. 121; séance du 28 mars 1862; séance du 2 mai 1862, Col. 272.

173. [Об участии Э. Х. Ленца в комиссии для изысканий способов вентиляции строений]. — Зап. Акад. наук, СПб., 1862, т. I, кн. 1, отчет по Физ.-матем. и Ист.-филолог. отдел., стр. 44—45.

1863

174. [О работе Э. Х. Ленца в 1863 г.] — Зап. Акад. наук, СПб., 1864, т. V, отчет Академии наук за 1863 г., стр 35.

175. [О приглашении Э. Х. Ленца принять участие в работах комиссии по вопросу об алкометрах]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. VI, séance du 8 mai 1863, Col. 246.

176. [Об избрании Э. Х. Ленца почетным членом Географического общества в Берлине]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1863, t. VI, séance du 18 septembre 1863, Col. 504.

1864

177. [О работе Э. Х. Ленца в 1864 г.]. — В кн.: Торжественное собрание Академии наук 29 декабря 1864 г. СПб. 1865. Отчет Академии наук за 1864 г., стр. 156, 170.

178. [О назначении Э. Х. Ленца председателем комиссии для рассмотрения и испытания спиртомеров]. — В кн.: Торжественное собрание Академии наук 29 декабря 1864 г. СПб. 1865. Отчет Акад. наук за 1864 г., стр. 170.

III. Основная литература о жизни и деятельности Э. Х. Ленца

1833

179. Электрический опыт г-на академика Ленца. Замораживание воды посредством гальванической струи. Отд. оттиск из „Библиотеки для чтения". [1833], стр. 44—48.

1837

180. Repertorium der Physik. (H. W. Dove und L. Moder). Bd. I. Berlin. 1837.

Э. Х. Ленц (стр. 285, 314, 320, 324).

1844

181. Poggendorff, J. C. Ueber das allgemeine galvanometrische Gesetz zur Erwiderung auf eine Stelle im vorstehenden Aufsatz des Hrn. Lenz. — Ann. d. Phys. u. Chem., Leipzig, 1844, Bd. LXI, SS. 50—54.

1854

182. Воронов, А. С. Историко-статистическое обозрение учебных заведений С.-Петербургского учебного округа. СПб. 1854. 436, 120 стр.

Э. Х. Ленц (стр. 29, 59, 77, 103, 337, 338).

183. Савельев, А. С. О трудах академика Ленца в магнито-электричестве. — Журнал Министерства народного просвещения, СПб., 1854, № 7, стр. 1—22 и № 8, стр. 23—48.

1860

184. Чехович, К. Электродинамический прибор Э. Ленца. Вильно. 1860. 43 стр.

1861

185. Ульский, А. Замечания на статью Дикова „О магнитных наблюдениях в Черном море“. — Морской сборник, 1861, т. LIII, № 5, стр. 15—22.

О магнитном теодолите Э. Х. Ленца.

1863

186. Ленц, Э. [Библиография]. — В кн.: Poggendorff's biographisch-literarisches Handwörterbuch. Bd. I. Leipzig. 1863, Col. 1423—1426; Bd. III. Leipzig. 1898, S. 795.

1864

187. Lenz, E. — В кн.: Larousse, P. Grand dictionnaire universel. T. X. Paris. [1864—1876]. [S. a.], p. 268.

1865

188. Буняковский, В. Я. Памяти Э. Х. Ленца. Речь на соединенном заседании Физ.-мат. и Ист.-филолог. отд. 9 февраля 1865 г. — Зап. Акад. наук, 1865, т. VII, протоколы, стр. 72—74.

189. [Э. Х. Ленц]. Некролог. — Кронштадтский вестник, 1865, 7 февраля, № 17, стр. 68.

1866

190. Годичный торжественный акт в СПб. университете 26 сентября 1865 г. СПб. 1866.

Э. Х. Ленц (стр. 17—18).

191. Ленц, Эмилий Христианович. [Некролог]. — Месяцеслов на 1866 г., СПб., стр. 397—398.

192. [О специальном заседании Физико-математического отделения, посвященном памяти Э. Х. Ленца]. — Bulletin de l'Acad. des sciences de St.-Pbg., 1866, t. X, séance extraordinaire du 9 février 1865, Col. 328—329.

193. О кончине Э. Х. Ленца. — Зап. Акад. наук, СПб., 1866, т. IX, кн. 1, отчет Академии наук за 1865 г., стр. 1—2.

194. Kuhn, C. Handbuch der angewandten Elektrizitätslehre, mit besonderer Berücksichtigung der theoretischen Grundlagen. Leipzig. 1866. XXVIII, 1393 SS., Fig.

Э. Х. Ленц (стр. 380, 629, 639—640, 663—664, 669, 721).

1867

195. Шнейдер, Э. Бато-термометры. — Морской сборник, СПб., 1867, т. XC, № 5, стр. 47—60.

Э. Х. Ленц (стр. 47, 48, 49).

196. Catalogue of scientific papers. Royal society of London. 1867—1925.

Э. Х. Ленц. Библиография (т. III, стр. 953—955; т. VIII, стр. 202; т. XVI, стр. 712).

1870

197. Григорьев, В. В. Императорский С.-Петербургский университет в течение первых пятидесяти лет его существования. СПб. 1870.

Э. Х. Ленц (стр. 111, 131, 191—194, 292, 296, 300, 318, 325, 326, 353, 354, 364, 398—399, 431). Ссылки, примечания и дополнения (стр. 45, 52—54, 71, 72, 78, 84).

198. Платов, А. и Кирпичев, Л. Исторический очерк образования и развития Артиллерийского училища. 1820—1870. СПб. 1870. XI, 374 стр.

Э. Х. Ленц (стр. 155, 225, 283).

1880

199. Ленц, Э. — В кн.: Геннади, Г. Справочный словарь о русских писателях и ученых, умерших в XVIII и XIX столетиях. Т. II. Берлин. 1880, стр. 232.

То же. — Русский архив, 1867, № 5—6, стр. 966—967.

1882

200. Heller, A. Geschichte der Physik von Aristoteles bis auf die neueste Zeit. 2 Bände. Stuttgart. 1882—1884. 411, 753 SS.

Э. Х. Ленц (т. II, стр. 621, 649, 650).

1885

201. Albrecht, G. Geschichte der Elektrizität mit Berücksichtigung ihrer Anwendung. Leipzig. 1885. 336 SS., Fig.

Э. Х. Ленц (стр. 192, 204, 224, 225).

1886

202. Gerard, E. Éléments d'électrotechnique. Liège. 1886. 477 pp., fig.

Закон Ленца (стр. 168—169).

203. Joannis, A. E. Lenz. — В кн.: La grande encyclopédie. T. XXII. Paris. [1886—1903]. [S. a.], p. 19.

1892

204. Розенбергер, Ф. Очерк истории физики. Ч. 3. Вып. 1—2. СПб. 1892.

То же. Под загл.: История физики. Ч. 3. Вып. 1—2. М.—Л. 1935—1936. 202, 448 стр., илл.

Э. Х. Ленц (изд. 1892 г., стр. 260, 283, 375, 522; изд. 1935 г., вып. 1, стр. 201, 238, 257, 258, вып. 2, стр. 47, 170, 177).

1893

205. Никитенко, А. В. Записки и дневник. 1826—1877. Т. II. СПб. 1893. 498 стр.

Э. Х. Ленц (стр. 4, 280, 284, 322, 401, 413).

1895

206. Лебединский, В. К. Э. Х. Ленц как один из основателей науки об электромагнетизме. — Электричество, 1895, № 11—12, стр. 153—161.

То же. — Почтово-телеграфный журнал, отдел неофициальный, 1895, стр. 915—934.

1896

207. Ленц, Э. Х. — В кн.: Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. Т. XVII. СПб. 1896, стр. 538.

208. Грот, Я. К. Переписка Я. К. Грота с П. А. Плетневым. 3 тома. СПб. 1896.

Э. Х. Ленц (т. I, стр. 273, 443, 504; т. II, стр. 245, 246, 249, 368, 385; т. III, стр. 200, 519, 606, 678, 679, 695).

1897—1899

209. Боргман, И. И. Основания учения об электрических и магнитных явлениях. Ч. 1—2. 2-е дополн. изд. СПб. 1897—1899.

Э. Х. Ленц (ч. 1, стр. 9, 316, 365, 482; ч. 2, стр. 436).

210. Россия. XII. Русская наука. — В кн.: Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. Т. XXVIII. СПб. 1899.

Деятельность Э. Х. Ленца в С.-Петербургском университете (стр. 742—743).

1900

211. Очерк работ русских по электротехнике с 1800 по 1900 год. СПб. 1900. II, 129 стр.

Труды Э. Х. Ленца (стр. 25—30).

1901

212. Ленц, Э. Х. — В кн.: Энциклопедический словарь. Т. II. СПб. 1901, стб. 1865.

1903

213. Ленц, Э. Х. — В кн.: Большая энциклопедия. Т. XII. СПб. 1903, стр. 122.

214. Stine, W. M. The contributions of H. F. E. Lenz to the science of electromagnetism. — Journal of the Franklin institute, 1903, April—May. То же. Отд. оттиск. 35 стр.

1904

215. Лебединский, В. К. Эмилий Христианович Ленц. — Журн. Русск. физ.-хим. общ., СПб., 1904, т. XXXVI, ч. физ., вып. 3, стр. 57—64.

Очерк важнейших работ Э. Х. Ленца.

216. Лермантов, В. В. Очерк истории развития физической лаборатории С.-Петербургского университета под руководством проф. Ф. Ф. Петрушевского. — В кн.: Сборник статей по физике, посвящаемый памяти дорогого учителя профессора Федора Фомича Петрушевского. СПб. 1904, стр. VII—XVI.

О лекциях Э. Х. Ленца в С.-Петербургском университете (стр. VII—VIII).

217. [Заседание памяти Э. Х. Ленца]. — Журн. Русск. физ.-хим. общ., СПб., 1904, т. XXXVI, ч. физ., вып. 2, проток. 224 (274) засед. 10 февраля 1904 г., стр. 49—50.

1908

218. Лакур, П. и Аппель, Я. Историческая физика. Одесса. 1908. Т. II.

Э. Х. Ленц (стр. 355, 368).

219. Darmstaedter, L. Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik. Berlin. 1908. X, [2], 1261, [3] 55.

Э. Х. Ленц (стр. 352, 410, 439, 448, 476).

1910

220. Ленц, Э. Х. — В кн.: Энциклопедический словарь Граната. 7-е изд. Т. XXVII. М. [1910—1949]. [Б. г.], стб. 16.

1911

221. Ленц, Э. Х. — В кн.: Новый энциклопедический словарь. Т. XXIV. П. [1911—1916]. [Б. г.], стб. 342.

1912

222. Drude, E. E. Lenz. — В кн.: Handwörterbuch der Naturwissenschaften. Bd. VI. Jena. 1912, S. 166.

1914

223. Галанин, Д. Из истории преподавания физики в России. (Академик Ленц, 1804—1861). — Физика, М., 1914, № 4, стр. 1—13.

Об учебниках физики, составленных Э. Х. Ленцом, и его педагогической деятельности.

224. Ленц, Э. [Библиография]. — В кн.: Венгеров, С. А. Источники словаря русских писателей. Т. III. П. 1914, стр. 432 (23 назв.).

225. Ленц, Э. — В кн.: Русский биографический словарь. СПб. 1914. Лабзина — Лященко, стр. 192—194.

1915

226. [Лермантов, В. В. Воспоминания об Э. Х. Ленце]. — Журн. Русск. физ.-хим. общ., СПб., 1915, физ. отд., т. XLVII, вып. 3, проток. 330 (380) засед. 10 февраля 1915 г., стр. 158—160.

1917

227. Материалы для истории академических учреждений за 1839—1914 гг. Ч. 1. П. 1917. 630 стр.

Э. Х. Ленц (стр. 50—51).

1920

228. Тимирязев, К. А. Развитие естествознания в России в эпоху 60-х годов. М. 1920. 58 стр.

Э. Х. Ленц (стр. 49).

1923

229. Dannemann, F. Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung und in ihrem Zusammenhange. Bd. IV. 2 Auflage. Leipzig. 1923. 630 SS., Fig. Liter. (SS. 549—592).

Э. Х. Ленц (стр. 118—120).

1932

230. E. Lenz. — В кн.: Der grosse Brokhaus. Bd. XI. Leipzig. 1932, S. 310.

1936

231. Лебедев, В. Об обобщении „правила Ленца". — Под знаменем марксизма, 1936, № 2—3, стр. 157—167.

1938

232. Ленц, Э. Х. — В кн.: Большая советская энциклопедия. Т. XXXVI. М. 1938, стб. 568.

1945

233. Вавилов, С. И. Краткий очерк истории Физического кабинета, Физической лаборатории, Физического института Академии наук СССР. Речь на торжественном заседании Физического института им. П. Н. Лебедева 12 июня 1945 г. — Труды Физического института (Академии наук СССР), 1945, т. III, вып. 1, стр. 3—24.

Э. Х. Ленц (стр. 14).

234. Вавилов, С. И. Очерк развития физики в Академии наук СССР за 220 лет. — В кн.: Очерки по истории Академии наук СССР. Физико-математические науки. М.—Л. 1945. 76, [1] стр.

Э. Х. Ленц (стр. 17).

235. Вавилов, С. И. Физический кабинет, Физическая лаборатория, Физический институт Академии наук СССР за 220 лет. М.—Л. 1945. 70, [4] стр

Э. Х. Ленц (стр. 36—42).

236. Шателен, М. А. и Радовский, М. И. Электротехника в Академии наук СССР за 220 лет. — Электричество, 1945, № 6, стр. 11—17.

Э. Х. Ленц (стр. 13—14).

237. Электрики — члены Академии наук. — Электричество. 1945, № 6, стр. 29—38.

Э. Х. Ленц (стр. 32).

1946

238. Вейтков, Ф. Л. Летопись электричества. 2-е, испр. изд. М.—Л. 1946. 318 стр., рис.

Э. Х. Ленц (стр. 167, 178).

239. Капцов, Н. А. Русские электрики. — Учен. зап. Моск. Гос. унив. им. М. В. Ломоносова, 1946, вып. 92, Роль русской науки в развитии мировой науки и культуры, т. I, кн. 2, стр. 24—37.

Э. Х. Ленц (стр. 26—27).

1947

240. Рудометов, И. И. Русские электротехники. Краткие очерки жизни и деятельности. М.—Л. 1947. 128 стр. Библиогр. (стр. 124—128).

Э. Х. Ленц (стр. 59—62).

241. В Комиссии по истории физико-математических наук. — Вестник Акад. наук СССР, 1947, № 6, стр. 85—86.

Изложение содержания доклада К. К. Баумгарта „О деятельности Э. Х. Ленца в С.-Петербургском университете“.

1948

242. Капцов, Н. А. Эмилий Христианович Ленц. — В кн.: Люди русской науки. Очерки о выдающихся деятелях естествознания и техники. Т. I.

М.—Л. 1948. Стр. 105—110. Лит.: Главнейшие сочинения и литература о Э. Х. Ленце (стр. 110).

243. Капцов, Н. А. Русские электрики XIX века. — Усп. физич. наук, 1948, т. XXXV, вып. 1, стр. 80—119.

Э. Х. Ленц (стр. 85—87).

244. Кудрявцев, П. С. История физики. Т. I. От античной физики до Менделеева. Под ред. А. К. Тимирязева. М. 1948. 535 стр., рис. Библиогр.: Указатель литературы к I тому (стр. 530—533. 146 назв.).

Э. Х. Ленц (стр. 456, 471—472, 483).

245. Розенберг, М. И. Эмилий Христианович Ленц. — Физика в школе, 1948, № 6, стр. 6—14. Лит.: (7 назв.).

1949

246. Баумгарт, К. К. Работы Э. Х. Ленца и Б. С. Якоби по электромагнетизму. — В кн.: Вопросы истории отечественной науки. Общее собрание Академии наук СССР, посвященное истории отечественной науки 5—11 января 1949 г. Доклады. М.—Л. 1949, стр. 184—186. (Академия наук СССР).

Изложение содержания доклада. — В ст.: Доклады по истории физики на сессии Академии наук СССР. — Успехи физ. наук, 1949, т. XXXVIII, вып. 1, стр. 135—138.

247. Капцов, Н. А. Электрофизика и электротехника в России до второй половины XIX столетия. — В кн.: Очерки по истории физики в России. Пособие для студентов и учителей. Под ред. А. К. Тимирязева. (Запись лекций, читанных коллективом профессоров Физического факультета Московского Государственного университета в 1943/44, 1944/45 и 1945/46 учебных годах). М. 1949, стр. 222—247.

Жизнь и научная деятельность Э. Х. Ленца (стр. 233—242).

248. Кузнецов, Б. Г. Патриотизм русских естествоиспытателей и их вклад в науку. М. 1949. 228, [1] стр.

Э. Х. Ленц (стр. 69—71).

249. Цейтлин, З. А. Общий очерк развития физики от Ломоносова до Столетова. — В кн.: Очерки по истории физики в России. Пособие для студентов и учителей. Под ред. А. К. Тимирязева. (Запись лекций, читанных коллективом профессоров Физического факультета Московского Государственного университета в 1943/44, 1944/45 и 1945/46 учебных годах). М. 1949, стр. 29—91.

Об учебниках по физике, составленных Э. Х. Ленцом (стр. 51—53); о деятельности Э. Х. Ленца в Физическом кабинете

Академии наук (стр. 59, 62); о деятельности Э. Х. Ленца в Петербургском университете (стр. 72).

250. Шателен, М. А. Русские электротехники второй половины XIX века. Л.—М. 1949. 378, [1] стр., с рис. и портр.

Э. Х. Ленц (стр. 7—9, 19—20, 25, 151, 222, 274).

1950

251. Храмой, А. В. К. И. Константинов — пионер электроавтоматики.— Электричество, 1950, №2, стр. 82—84, с рис.

Об оценке Э. Х. Ленцом электро-баллистической установки К. И. Константинова (стр. 83—84).

Составила *А. М. Лукомская.*

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕН

Авенариус М. П. 453
Альбрехт Г. 162, 509
Альман 496
Амосов 505
Ампер Андре-Мари 147, 150, 151, 152, 154, 156, 476
Аполлоний 324
Аппель Я. 511
Аткинс 17, 82

Барлоу Питер 155, 156, 297, 476
Бауер 494
Баумгарт К. К. 514
Беккерель А. 244, 245, 255, 477
Берлинский 495
Бессель 42
Био Ж. Б. 49, 59, 495
Бобылев Д. К. 453
Божерянов Н. Н. 493
Бонгард Г. Г. 492
Боргман И. И. 453, 454, 510
Брандт Ф. Ф 487
Буняковский В. Я. 452, 507
Бэр К. М. 491, 492, 493, 494

Вавилов С. И. 512, 513
Ващенко-Захарченко М. Е. 494
Вебер В. 161, 162, 164, 202, 469, 476
Вейтков Ф. Л. 513
Венгеров С. А. 511
Веселаго Ф. Ф. 503
Веселовский К. С. 491
Воейков А. И. 460
Волластон У. Г. 17, 246, 477, 486
Воскресенский А. А. 452
Воронов А. С. 507
Врангель Ф. П. 492

Галанин Д. Д. 511
Гамель И. Х. 195, 477
Ганн-Зюринг 461
Гаусс К. 455, 476
Гебель А. Ф. 492
Гезехус Н. А. 453
Гейлс 25, 26
Гей-Люссак 80, 81
Геллер А. 509
Гельмгольц 467
Гельмерсен Г. П. 491, 494
Геннади Г. Н. 509
Генри Дж. 243, 477
Гесс Г. И. 361, 478, 492, 493, 495
Гизе 449
Гиргензон Х. Г. 488
Глазенап Б. А. 493
Григорьев В. В. 508
Грове 190, 311
Грот Я. К. 510
Гумбольдт А. 450

Давидов 493
Даген 492
Даль Негро 251, 343
Даниэль 220, 221, 386, 388, 414, 415
Даннеман Ф. 512
Дарвин Ч. 450
Дармштеттер Л. 511
Де-ла-Рив. Л. 476
Де-ла-Рив. О. 476, 485
Де-ла-Рив Ш. 154, 155, 476, 486
Делюк 12, 17
Демидов П. Н. 492, 493, 494
Депре 81
Дершау 505
Джул Дж. Пр. 361, 465, 470, 472, 478, 479
Диков И. М. 507
Доберейнер 190
Дове Г. В. 507
Доллонд 17, 144
Друде 511

Евреинов 195
Егоров Н. Г. 453
Ефремов Д. В. 482, 486, 487

Жерар Э. 509
Жоаннис А. 509

Зарубин П. А. 495, 497

Ильенков П. А. 493

Казнаков Н. И. 494
Капцов Н. А. 513, 514
Кемц Л. М. 493
Кирпичев Л. 508
Кнохенгауэр К. В. 497
Ковальский М. А. 493
Константинов К. И. 489, 515
Коозен 192, 194
Коплей 455
Коцебу, фон, Отто 9, 19, 21, 25, 47, 133, 449, 456, 475, 481
Крейгер И. 496
Крузель Г. 494, 495, 497
Крузенштерн, фон 9, 25, 456
Крюммель 458
Кудрявцев П. С. 514
Кузнецов Б. Г. 514
Кулон 285, 308
Кун К. 508
Куник А. А. 491
Купфер А. Я. 493, 494, 495, 496, 497
Куторга 452

Лавуазье 82
Лакур П. 511
Лаплас 82
Ларусс П. 507
Лебедев В. И. 512
Лебедев П. Н. 474
Лебединский В. К. 509, 510
Ленц Р. Э. 453
Ленц Эд. 490, 505
Лермантов В. В. 511, 512
Ле-Руа 82, 85
Лисянский 456
Литке Ф. П. 483
Ломоносов М. В. 473, 514

Майер 144
Макаров С. О. 450, 456, 457, 458
Мак-Доннель 498
Максвелл Кл. 473
Мацеровский 495
Мейер К. А. 483, 487, 496
Менделеев Д. И. 452
Миддендорф А. Ф. 487, 488
Модер Л. 507
Мозер 412
Мунке 354, 483

Нансен Фр. 457
Никитенко А. В. 509
Ней 496

Нейман Фр. 467
Нервандер И. 167, 176, 220, 222, 224, 256, 334, 361, 372, 374, 377, 412, 476, 493
Нобили Л. 148, 151, 152, 476
Ньютон Ис. 417
Озанн 20
Ом Г. С. 251, 271, 411, 387, 455, 465, 471, 472, 478, 479
Орловский 498
Оссовский 498
Остроградский М. В. 493

Паррот Г. Ф. 9, 11, 15, 16, 17, 18, 21, 23, 24, 26, 32, 126, 129, 297, 449, 450, 457, 482
Перон 22, 23
Петров В. В. 473
Петрушевский Ф. Ф. 453, 454, 494, 511
Петтерсон 457
Платов А. С. 508
Плетнев П. А. 510
Поггендорф 386, 387, 388, 412, 479, 507
Попов А. С. 474
Празмовский 497
Прейс 19, 20
Пчельников М. 373, 487
Пулье Кл. 412, 479

Радовский М. И. 482, 486, 487, 513
Ренье 354
Реомюр 82, 85
Ритчи У. 157, 476
Рихман Г. 473
Розенберг М. И. 514
Розенбергер Ф. 509
Рудометов И. И. 513
Рупрехт 496

Савельев А. С. 453, 488, 493, 495, 507
Саразен Э. 476
С'Гравезанд 49
Своненберг 14
Семенов П. П. 502, 503
Сикст 10, 17, 19, 23, 24, 25, 39, 456
Синстеден 192, 193
Слугинов Н. П. 453
Смирнова В. Г. 459
Соловьев М. Ф. 451
Стайн У. М. 510
Стефани Л. Э. 491
Столетов А. Г. 473, 478, 514
Струве Ф. 9, 17, 18, 20, 493, 497
Стэрджен У. 243, 477

Тейлор Р. 482, 484
Тен-Эйк 243
Тибо П. 497
Тимирязев А. К. 514
Тимирязев К. А. 512
Томсон В. (лорд Кельвин) 457
Торричелли Эв. 23, 135

Ульский А. 507

Фан-дер-Флит П. П. 453
Фарадей М. 147, 148, 150, 154, 156, 157, 280, 466, 469, 471, 475, 476, 477, 479
Фехнер Г. 169, 251, 343, 386, 478
Флемминг 467
Форсельман де-Геер П. 387, 411, 479
Фрицше Ю. Ф. 493, 496

Хорнер 25, 26, 39
Храмой А. В. 515

Цейтлин З. А. 514
Циволька А. К. 486

Чебышев П. Л. 452, 494, 497
Чехович К. 507
Чиколев В. Н. 474

Шамиссо 449
Шателен М. А. 513, 515
Швейгер И. 167, 477
Шенгелицев И. 496
Шиллинг-фон-Канштадт П. Л. 365, 479
Шнейдер Э. 498, 508
Шотт Г. 459, 461
Шренк Л. И. 491, 505
Штерер Э. 162, 168, 176, 177, 187, 195,204, 205, 214, 216, 222, 228, 233, 476

Щеглов Н. П. 451
Щеглов Н. Т. 451
Щеглов 481

Экман 457
Энгельгардт 9
Эпинус 473
Эренберг 496
Эрман А. 487
Эрман мл. 24, 83, 86
Эрстед Ганс Христиан 126, 153, 476

Яблочков П. Н. 474
Якоби Б. С. 163, 190, 195, 196, 199, 251, 283, 304, 369, 370, 385, 412, 455, 472, 473, 474, 477, 478, 484, 485, 492, 493, 494, 496, 497, 498, 500, 504, 514

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Физические наблюдения, произведенные во время кругосветного путешествия под командованием капитана Отто фон-Коцебу в 1823, 1824, 1825 и 1826 годах (Перевод *М. М. Айхингер* и *Т. Н. Кладо*) 9

Предисловие (9). — О воде на различных глубинах в отношении температуры и содержания солей (22). — Ежечасные наблюдения барометра в Кавите на острове Люсон (14°34′ с. ш. и 239°9′ з. д. от Гринвича) для отыскания периодов закономерного подъема и падения в течение суток (112). — Сравнение средней суточной температуры воздуха и воды на поверхности моря (118). — О сжимаемости ртути (125). — О сжимаемости воды (126). — О содержании кислорода в воздухе на различных широтах и долготах (128). — О солености воздуха над морем (130). — Приложение (133).

Об определении направления гальванических токов, возбуждаемых электродинамической индукцией (Перевод *М. В. Савостьяновой*) 145

О влиянии скорости вращения на индукционный ток, производимый магнито-электрическими машинами (Перевод *М. В. Савостьяновой*) 159

Первое сообщение (161). — Второе сообщение (192). — Третье сообщение (216).

О законах электромагнитов (Э. Ленц и Б. Якоби) (Перевод *М. В. Савостьяновой*) 241

Раздел первый (251). — Дополнение Э. Ленца (283). — Раздел второй (288). — Раздел третий (306). — Приложение (328)

О притяжении электромагнитов (Б. Якоби и Э. Ленц) (Перевод *М. В. Савостьяновой* и *Т. Н. Кладо*) 339

Стр.

О законах выделения тепла гальваническим током (Перевод *М. В. Савостьяновой*) 361
Выделение тепла в проволоках (412).

Приложения

Э. Х. Ленц. Краткий биографический очерк. — Проф. *К. К. Баумгарт* 449

Заслуги Э. Х. Ленца в области физической географии. — Акад. *Л. С. Берг* 456

О работах Э. Х. Ленца в области электромагнетизма. — Чл.-корр. АН СССР *Т. П. Кравец* 465

Примечания 475

Библиографический указатель. — *А. М. Лукомская* 480

Указатель имен 516

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Академии Наук СССР

*

Редактор издательства *О. И. Дейнека*
Технический редактор *Р. С. Певзнер*
Корректоры *Г. Н. Антик* и *А. С. Малютина*

*

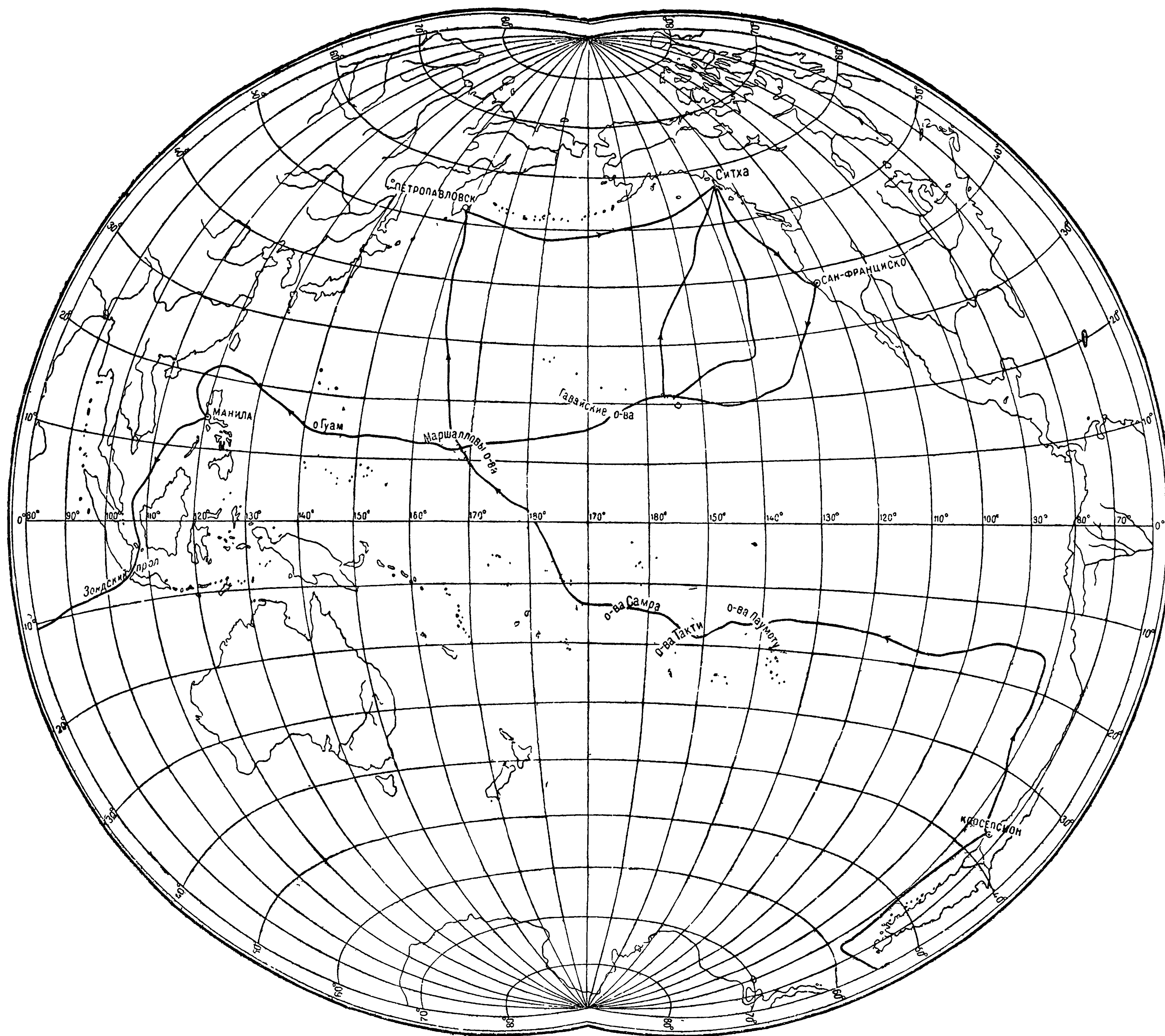
РИСО АН СССР № 4037. Подписано к печати 23 III 1950 г. Бумага 70×92 1/16. Бум. л. 16 3/8. Печ. л. 38.31. + 2 вклейки. Уч.-изд. л. 25. М. 01772. Тираж 5000. Зак. № 1561.
Цена в перепл. 21 руб. 50 к

1-я тип. Изд-ва АН СССР, Ленинград, В. О., 9 линия, д. 12

ОПЕЧАТКИ

Страница	*Строка*	*Напечатано*	*Должно быть*
263	2 снизу	подобным	подобных
331	11 сверху	спираль	катушка
332	5 сверху	6 футов	6 дюймов

Э. Х. Ленц. Избранные труды.



Масштаб 1 : 60 000 000

2 р. 10 к.